

**ІНАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра автоматики та управління в технічних системах**

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Олександр РОЛІК
«__» _____ 20__ р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-науковою програмою «Інтегровані інформаційні системи»
зі спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології»
на тему: «Дослідження впливу методів економії ємності на продуктивність
системи зберігання даних»**

Виконав (-ла):
студент (-ка) VI курсу, групи ІА-91мн
Пунда Сергій Юрійович _____

Керівник: професор. каф. АУТС, д.ф.-м.н.
Дорошенко Анатолій Юхимович _____

Рецензент:
Стеценко Інна Вячеславівна _____

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.
Студент (-ка) _____

Київ – 2021 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра автоматики та управління в технічних системах

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 126 «Інформаційні системи та технології»

Освітньо-професійна програма «Інтегровані інформаційні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олександр РОЛІК

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Пунді Сергію Юрійовичу

1. Тема дисертації «Дослідження впливу методів економії ємності на продуктивність системи зберігання даних», науковий керівник дисертації Дорошенко Анатолій Юхимович, професор. каф. АУТС, д.ф-м.н., затверджені наказом по університету від «12» 03 2021 р. №809-с

2. Термін подання студентом дисертації 11.05.2021

3. Об'єкт дослідження – система зберігання даних.

4. Предмет дослідження – дослідження впливу методів економії ємності на продуктивність системи зберігання даних.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: аналіз існуючих рішень; аргументація вибору інструментів необхідних для роботи системи; дослідження теоретичного матеріалу з обраної теми; розробка моделі системи зберігання даних IBM FlashSystem 5035; розгортання тестового середовища для визначення продуктивності системи зберігання даних; порівняння отриманих результатів; розробити методику конфігурування системи зберігання за якою можна визначити, які системи та який стек технологій слід використовувати бізнес-користувачу для виконання поставлених перед ним завдань.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: зовнішній вигляд сучасних систем зберігання, Web-інтерфейс програмного забезпечення Storage Modeller, схема підключення тестового стенду, графіки залежності IOPS від часу

виконання однієї операції вводу/виводу, Графічний інтерфейс системи зберігання даних IBM FlashSystem.

7. Орієнтовний перелік публікацій: 1) «Дослідження впливу компресії даних на продуктивність системи збереження даних» – XIII Міжнародній науково-практичній конференції «Комп'ютерні системи та мережні технології». – К.: НАУ, 2021. – 99 С. (наукове видання);

8. Дата видачі завдання 01.02.2021

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання магістерської дисертації | Термін виконання етапів магістерської дисертації | Примітка |
|-------|---|--|----------|
| 1. | Огляд та аналіз існуючих рішень | 07.02.2021- 21.02.2021 | |
| 2. | Дослідження теоретичного матеріалу з обраної теми | 10.03.2021- 01.04.2021 | |
| 3. | Розробка моделі системи зберігання даних IBM FlashSystem 5035, FlashSystem 5200 | 02.04.2021- 15.04.2021 | |
| 4. | Розгортання тестового середовища для визначення продуктивності системи зберігання даних | 16.04.2021- 01.05.2021 | |
| 5. | Порівняння отриманих результатів з існуючими рішеннями | 02.05.2021- 03.05.2021 | |
| 6. | Розробка методики конфігурування | 04.05.2021- 08.05.2021 | |
| 7. | Здача готової роботи | 11.05.2021 | |

Студент

Сергій Юрійович, ПУНДА

Науковий керівник

Анатолій Юхимович, ДОРОШЕНКО

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на здобуття ступеня «магістр» на тему: «Дослідження впливу методів економії ємності на продуктивність системи зберігання даних». Дисертація містить 111 сторінок, 54 рисунки, 34 таблиць, 2 додатки, 9 джерел.

Актуальність. У зв'язку з постійним збільшенням кількості даних у світі, виникла потреба у створенні апаратного рішення, яке буде здатне зберігати та керувати великими обсягами даних. Станом на сьогодні, даний прилад носить назву: система зберігання даних або СЗД. Але, як і будь-який прилад, системи зберігання даних мають обмеження, які зумовлені фізичними параметрами самого приладу. Як правило, для СЗД – це кількість дисків, які можуть працювати в рамках однієї системи. Саме тому алгоритми компресії та дедублікації даних стали невід'ємною частиною СЗД, адже даний функціонал дозволяє збільшити кількість інформації, що зберігається.

Метою магістерської дисертації є розробка методики конфігурування системи зберігання даних.

Об'єкт дослідження: система зберігання даних.

Предмет дослідження: дослідження впливу методів економії ємності на продуктивність систем зберігання даних.

Наукова новизна, яка отримана у ході роботи над магістерською дисертацією полягає у розробці методики конфігурування системи зберігання даних, що дозволить користувачу обрати оптимальну СЗД для вирішення поставлених перед ним завдань.

Апробація результатів дисертації. Результати роботи було опубліковано в матеріали конференцій:

«Дослідження впливу компресії даних на продуктивність системи збереження даних» – XIII Міжнародній науково-практичній конференції «Комп’ютерні системи та мережні технології». – К.: НАУ, 2021. – 99 С. (наукове видання);

Ключові слова: МЕРЕЖА ЗБЕРІГАННЯ ДАНИХ, КОМПРЕСІЯ ДАНИХ, ДЕДУПЛІКАЦІЯ, БІЗНЕС-КОРИСТУВАЧ, ВІРТУАЛІЗАЦІЯ, ОПЕРАЦІЇ ВВОДУ ВИВОДУ, ПРОТОКОЛ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ.

ABSTRACT

Master's dissertation for the degree of "master" on the theme: "Research of the impact of capacity saving methods on the performance of the storage system." The dissertation contains 111 page, 54 figures, 34 tables, 2 appendices, 9 sources.

Relevance. Due to the ever-increasing amount of data in the world, there is a need to create a hardware solution that will be able to store and manage large amounts of data. As of today, this device is called: storage system, but like any device, storage systems have limitations that are due to the physical parameters of the device itself. As a rule, for storage it is quantity of disks which can work within one system. That is why data compression and deduplication algorithms have become an integral part of the storage system, as this functionality allows you to increase the amount of stored information.

The purpose of the master's dissertation is to develop a method of configuring the data storage system.

The object of research is storage system.

The subject of research is research of the impact of capacity saving methods on the performance of the storage system

The scientific novelty, which was obtained during the work on the master's dissertation is the formation of a method of configuring the storage system, which will allow the user to choose the optimal SZD to solve the tasks before him.

Approbation of dissertation results. The results of the work were published in conference proceedings: «Дослідження впливу компресії даних на продуктивність системи збереження даних» – XIII Міжнародній науково-практичній конференції «Комп'ютерні системи та мережні технології». – К.: НАУ, 2021. – 99 С. (наукове видання);

Keywords: DATA STORAGE NETWORK, DATA COMPRESSION, DEDUPLICATION, BUSINESS USER, VIRTUALIZATION, INPUT OUTPUT OPERATIONS, TRANSFER PROTOCOL.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП | 13 |
| 1 МЕРЕЖІ ЗБЕРІГАННЯ ДАНИХ..... | 15 |
| 1.1 Загальні положення | 15 |
| 1.2 Direct attached Storage..... | 15 |
| 1.2.1 Внутрішній DAS..... | 16 |
| 1.2.2 Зовнішній DAS | 16 |
| 1.3 Network Attached Storage..... | 17 |
| 1.4 Storage Area Networks..... | 20 |
| 2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ..... | 24 |
| 2.1 IBM..... | 25 |
| 2.2 DELL..... | 32 |
| 2.3 Hewlett Packard Enterprise | 38 |
| 2.4 Функціонал сучасних СЗД | 42 |
| 2.4.1 RAID | 43 |
| 2.4.2 Tiering | 46 |
| 2.4.3 SnapShot..... | 48 |
| 2.4.4 Data reduction and unmap | 48 |
| 3 ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ МОДЕЛІ ОЦІНКИ ПРОДУКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЗБЕРІГАННЯ ДАНИХ В СЕРЕДОВИЩІ STORAGE MODELLER ... | 50 |
| 3.1 Основні поняття робочих навантажень..... | 50 |
| 3.2 Storage Modeller | 51 |
| 3.3 Алгоритм побудови моделі СЗД..... | 52 |

| | |
|---|-----|
| 3.3 Результати роботи моделі СЗД 5035 | 63 |
| 3.3.1 Продуктивність СЗД 5035 без використання алгоритмів компресії та дедублікації | 63 |
| 3.3.2 модель з використанням програмних алгоритмів компресії | 65 |
| 3.3.3 модель з використанням програмної дедублікації | 68 |
| 3.4 Результати роботи моделі СЗД 5200 | 71 |
| 3.4.1 модель без використання алгоритмів компресії та дедублікації | 71 |
| 3.4.2 модель з використанням апаратного алгоритму компресії | 73 |
| 3.4.3 модель 5100 з використанням апаратної дедублікації | 76 |
| 4 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЗБЕРІГАННЯ ДАНИХ..... | 80 |
| 4.1 Вибір обладнання для тестування | 80 |
| 4.2 Розробка схеми підключення СЗД до хосту | 83 |
| 4.3 Вибір ПЗ для тестування та скрипти навантаження..... | 84 |
| 4.3.1 storage definition (SD)..... | 84 |
| 4.3.2 workload definition | 85 |
| 4.3.3 run definition (RD)..... | 86 |
| 4.4 Налаштування менеджмент інтерфейсів | 87 |
| 4.5 Налаштування зонінгу | 93 |
| 4.6 Створення томів зберігання та їх підключення до хосту..... | 94 |
| 4.6 Результати експерименту | 102 |
| ВИСНОВКИ..... | 109 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ | 110 |
| ДОДАТОК А..... | 112 |

| | |
|-----------------|-----|
| ДОДАТОК Б | 115 |
|-----------------|-----|

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

ЦОД – Центр обробки даних

DAS – Direct Attached Storage

NAS – Network Attached Storage

SAN – Storage Area Networks

HBA – Host Bus Adapter

СЗД – Система зберігання даних

FC – Fibre Chanel

SCSI – Small Computer System Interface

CIFS – Common Internet File System

NFS – Network File System

RPC – Remote Procedure Call

SNIA – Storage Networking Industry Association

WAN – Wide Area Network

LUN – Logical Unit Number

SAS – Serial Attached SCSI

ОС – Операційна система

API – Application Programming Interface

HTTP – HyperText Transfer Protocol

LAN – Local Area Network

HDD – Hard Disk Drive

SSD – Solid State Drive

NVMe – Non-Volatile Memory Host Controller Interface Specification

PCIe – Peripheral Component Interconnect Express

SCM – Storage Class Memory

GUI – Graphical User Interface

RAID – Redundant Array of Independent Disks

IOPS – Input/output Operations Per Second

DRP – Data Reduction Pool

ВСТУП

Актуальність даної магістерської дисертації полягає в тому, що ІТ технології стали невід’ємною частиною нашого життя. Кожного дня людство генерує екзабайти цифрових даних у вигляді різноманітного роду контенту. Це може бути відео зняте на телефон, фінансова транзакція, тощо. Варто відзначити, що дані до моменту їх обробки не несуть ніякої цінності для користувача, адже по суті це просто набір одиниць і нулів. Будь-які оброблені дані являють собою інформацію, яка станом на сьогодні є найціннішим ресурсом в світі. Саме тому більшість сучасних компаній мають за мету отримати здатність зберігати та оброблювати величезні обсяги даних з яких у майбутньому вони зможуть отримати фінансову вигоду.

Апаратне рішення, яке здатне зберігати та керувати великими обсягами даних називається системою збереження даних (СЗД). Як і будь-який прилад, системи зберігання даних мають обмеження, які зумовлені фізичними параметрами самого обладнання. Як правило, для СЗД – це кількість дисків, які можуть працювати в рамках однієї системи. У зв’язку з цим більшість систем зберігання даних здатні використовувати алгоритми компресії та дедублікації даних. Даний функціонал дозволяє збільшити кількість інформації, що зберігається за рахунок того, що дані займають менший простір на накопичувачі. В той же час, користувач повинен розуміти, що використання методів економії ємності даних мають прямий вплив на продуктивність СЗД і їх використання може негативно впливати на роботу бізнес процесів.

Об’єктом дослідження в дисертації слугує система зберігання даних. **Предметом дослідження** в свою чергу виступає дослідження впливу методів економії ємності на продуктивність систем зберігання даних.

Метою магістерської дисертації є методика конфігурування системи зберігання даних.

Поставлена мета досягається за рахунок виконання наступних задач:

- огляд сучасних архітектур збереження даних;
- аналіз існуючих рішень;
- аргументація вибору інструментів необхідних для роботи системи;
- дослідження теоретичного матеріалу з обраної теми;
- розробка моделі системи зберігання даних IBM FlashSystem 5035 та IBM FlashSystem 5200;
- розгортання тестового середовища для визначення продуктивності системи зберігання даних;
- порівняння отриманих результатів;

Наукова новизна, яка отримана у ході роботи над магістерською дисертацією полягає у розробці методики конфігурування системи зберігання даних, що дозволить користувачу обрати оптимальну СЗД для вирішення поставлених перед ним завдань.

Апробація результатів дисертації. За результатами роботи опубліковані матеріали у вигляді тези: «Дослідження впливу компресії даних на продуктивність системи збереження даних» на XIII Міжнародній науково-практичній конференції «Комп'ютерні системи та мережні технології». – К.: НАУ, 2021. –82 С. (наукове видання)

1 МЕРЕЖІ ЗБЕРІГАННЯ ДАНИХ

1.1 Загальні положення

Мережі зберігання даних забезпечують надлишковий та масштабований доступ від комп'ютерів, серверів та інших кінцевих пристроїв до зовнішніх ресурсів зберігання у загальній мережі. В основному вони реалізовані в ІТ-середовищах підприємств та центрах обробки даних (ЦОД). Пристрій зберігання даних, підключений до мережі, може бути простим сервером зберігання даних з декількома дисками в конфігурації або системою зберігання даних (СЗД) яка здатна обслуговувати тисячі носіїв одночасно. Станом на сьогодні виділять три типи підключення сховищ до мережі:

- Direct Attached Storage (DAS)
- Network Attached Storage (NAS)
- Storage Area Networks (SAN)

1.2 Direct attached Storage

Пряме приєднане сховище (DAS) - це прямий зв'язок між сховищем та сервером без будь-якого мережевого пристрою, такого як маршрутизатор, комутатор, концентратор або директор. Однак відсутність мережі не означає, що немає підключення до інтерфейсів вводу/виводу. DAS може мати багато різних типів інтерфейсів, підключених до сервера, таких як адаптер хост-шини (HBA), IDE / ATA, SATA, SAS, SCSI, eSATA та Fibre Channel (FC) [1].

В залежності від розташування накопичувачів виділяється два типи DAS середовища: внутрішнє і зовнішнє.

1.2.1 Внутрішній DAS

За допомогою внутрішнього DAS диски для зберігання знаходяться безпосередньо всередині сервера. Загальний інтерфейсний зв'язок здійснюється через HBA, основна функція якого полягає у забезпеченні високошвидкісного з'єднання по шині. Крім того, HBA може обробляти багато другорядних задач, для того, щоб зменшити навантаження на центральний процесор. Зазвичай внутрішній DAS виділяє один або два носія даних для завантаження системи. При цьому, якщо фізичний простір такої системи обмежений, а бізнес-програма потребує подальшого розширення ємності сховища і при цьому немає можливості розширювати фізичний простір на сервері, в такому випадку необхідно підключати зовнішній дисковий масив.

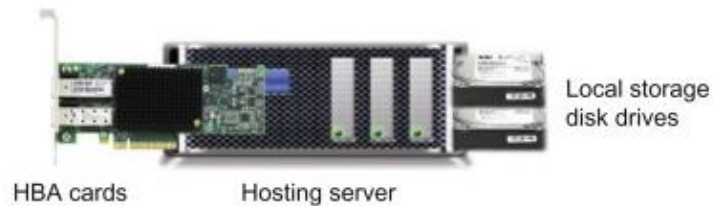


Рисунок 1.1 – Внутрішній DAS

1.2.2 Зовнішній DAS

Для зовнішнього DAS, масив дискових накопичувачів (СЗД) все ще безпосередньо приєднаний до сервера без будь-якого мережевого пристрою. Однак СЗД взаємодіє з сервером за допомогою різних блочних протоколів передачі даних. Популярними протоколами у сьогоденні є SCSI (Small Computer System Interface) та FC. Зовнішній DAS у порівнянні з внутрішнім, долає фізичну відстань між сервером та системою збереження даних, але водночас з цим,

зовнішня система зберігання даних може одночасно використовуватися декількома серверами.

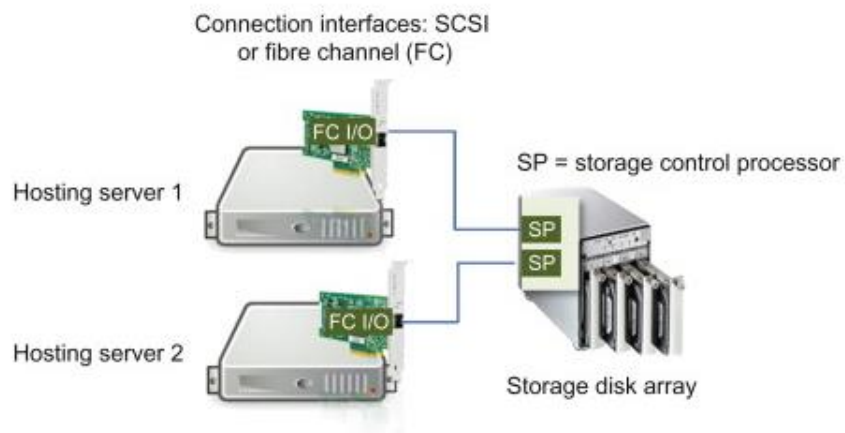


Рисунок 1.2 – Зовнішній DAS

Головними перевагами DAS мережі можна назвати:

- дешевизна рішення;
- проста архітектура мережі;
- швидкість передачі даних.

До недоліків в свою чергу можна віднести:

- складність масштабування;
- відмовостійкість системи.

Мережа DAS ідеально підходить для малих підприємств, які обмінюються даними локально та мають визначений невеликий виділений бюджет для зростання IT інфраструктури.

1.3 Network Attached Storage

В даний час існує два популярних механізми обміну даними, які працюють на базі інтернет протоколу IP: мережева файлова система (NAS) та iSCSI. Два механізми принципово різні. NAS дозволяє спільно використовувати файли між

багатьма клієнтськими машинами. iSCSI - це протокол рівня блоку, який інкапсулює команди SCSI в TCP / IP пакети та передає дані через мережу TCP / IP. iSCSI дозволяє програмам, що працюють на одній клієнтській машині, обмінюватися віддаленими даними, але він не підходить для обміну даними між різними машинами. NAS - це файловий сервер, який зазвичай представляє мережевий інтерфейс файлів, використовуючи файлові протоколи передачі даних: Common Internet File System (CIFS) або Network File System (NFS). Типовий NAS підключається до локальної мережі та надає послуги спільного використання файлів багатьом клієнтам. Порівняно з системами зберігання ноутбуків та настільних комп'ютерів, головною особливістю підсистем зберігання на файловому сервері є залучення декількох високопродуктивних дисків. Вони, як правило, організовані як RAID-група з даними, розподіленими по дисководах для сукупної ємності, продуктивності та надійності.

NAS - це складна система, що складається з декількох компонентів, таких як центральний процесор, оперативна пам'ять, RAID контролери, шини та накопичувачі. На рисунку 2 показаний основний потік даних вводу-виводу рівня файлів через NAS.

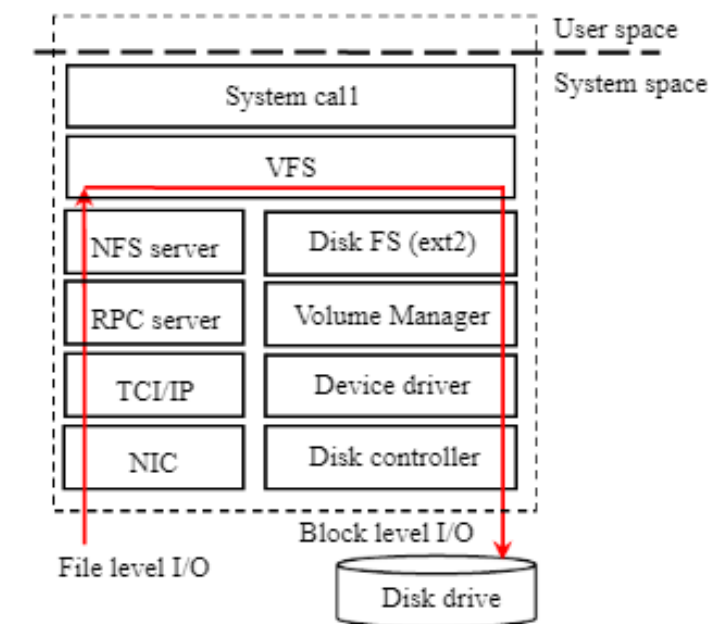


Рисунок 1.3 – Потік даних вводу-виводу рівня файлів через типовий NAS

NAS пристрій унікальний у своєму роді, оскільки містить характеристики як підсистем зберігання даних, так і мереж, і при цьому, ці підсистеми співвідносяться між собою. Зазвичай потік даних у NAS займає такий процес: у той час коли клієнтська програма хоче записати файл на NAS сервер, вона викликає процедуру запису `write()`, яка в свою чергу робить запит до NAS сховища через рівень віддалених процедурних викликів (RPC). Параметри та дані будуть надіслані до NAS пристрою, як повідомлення через стек TCP / IP від RPC. Потім повідомлення передаються на сервер RPC з мережі в кеш системної пам'яті через мережеву карту та системну шину NAS. Сервер RPC розпаковує та передає повідомлення в протокол сервера NFS. Протокол сервера NFS передає дані до локальної файлової системи диска (наприклад, `ext2` / `ext3`) через VFS. Згідно з політикою запису, дані, які потрібно записати, передаватимуться через диспетчер томів, драйвер пристрою, шину PCI, контролер дисків і, нарешті, будуть записані на накопичувачі. Якщо вибрано політику зворотного запису, дані будуть записані на накопичувач, коли вони будуть вилучені з кешу системи. Остаточна відповідь буде надіслана клієнту через рівні протоколу NFS, RPC та TCP / IP. Коли запит на читання від клієнта NAS хоче отримати доступ до даних, що зберігаються в NAS, він спочатку перевіряє кеш пам'яті. Якщо дані можна знайти в кеш-пам'яті, запит на зчитування буде подано, а відповідні дані будуть загорнуті в повідомлення, а потім негайно відправлені клієнту через стек TCP / IP сервером RPC. В іншому випадку необхідні дані потрібно спочатку отримати з накопичувачів, потім перенести через периферійну шину до шини адаптеру, потім через шину PCI в кеш системної пам'яті після чого дані проходять через системну шину і будуть інкапсульовані в пакети та перейдуть до Disk FS (`ext2`), Volume Manager, Device driver відповідно.

1.4 Storage Area Networks

Асоціація мереж зберігання даних (SNIA) визначає мережу сховищ (SAN) як мережу, основною метою якої є передача даних між комп'ютерними системами та елементами зберігання. SAN складається з комунікаційної інфраструктури, яка забезпечує фізичні зв'язки. Вона також включає рівень управління, який організовує з'єднання, елементи зберігання та комп'ютерні системи, щоб передача даних була безпечною та надійною [2]. Термін SAN зазвичай ототожнюється із послугами блоку вводу-виводу, а не послугами доступу до файлів. Простіше кажучи, SAN - це спеціалізована високошвидкісна мережа, яка підключає сервери та пристрої зберігання даних, також SAN іноді називають мережею, що стоїть за серверами. Storage Area Networks забезпечує будь-яке з'єднання по мережі за допомогою елементів взаємозв'язку, таких як комутатори та директори. SAN усуває традиційне виділене з'єднання між сервером і сховищем, також даний тип мережі усуває будь-яке обмеження обсягу даних, до яких сервер може отримати доступ, так як традиційно сервер обмежується кількістю запам'ятовуючих пристроїв, які підключаються до нього. Натомість SAN вводить гнучкість мережі, щоб один або багато різномірних серверів мали спільну утиліту для зберігання даних. Мережа може включати багато пристроїв зберігання даних, включаючи диски, магнітні бібліотеки та оптичні носії. Крім того, програма зберігання може бути розташована далеко від серверів, якими вона користується. SAN можна розглядати як розширення концепції шини зберігання [10]. Ця концепція дозволяє пристроям зберігання даних та серверам взаємозв'язуватися за допомогою подібних елементів, таких як локальні та глобальні мережі (WAN). На рисунку 1.4 показано багаторівневий огляд SAN, яка з'єднує кілька серверів з кількома системами зберігання.

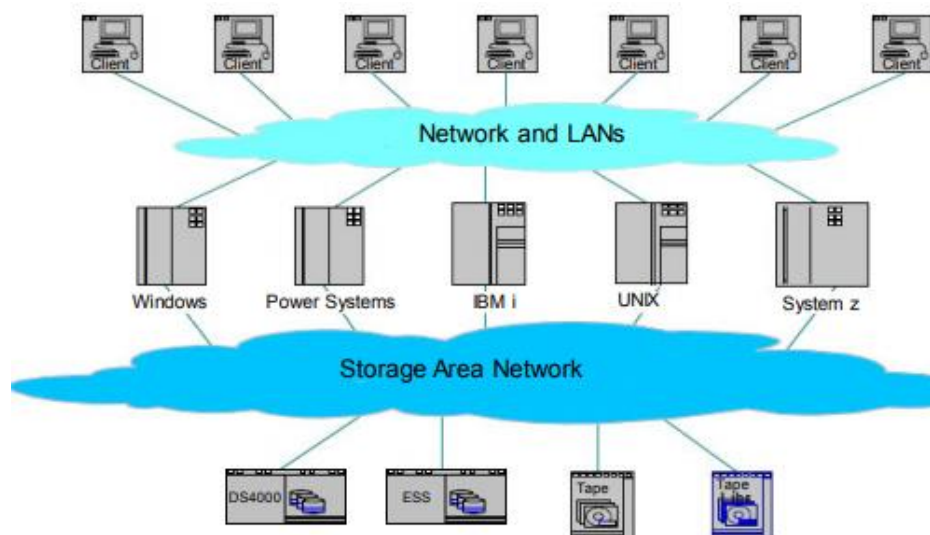


Рисунок 1.4 – Багаторівнева SAN

SAN створює нові методи приєднання СЗД до серверів. Ці методи можуть забезпечити значне покращення як доступності, так і продуктивності системи. Сучасні SAN використовуються для підключення спільних масивів збереження та магнітних бібліотек до декількох серверів, які можуть бути об'єднані в кластер для відмовостійкості системи. SAN може бути використаний для обходу традиційних «вузьких місць» у мережі. Дана мережа забезпечує пряму, швидкісну передачу даних між серверами та запам'ятовуючими пристроями.

Існує три види підключення пристроїв в SAN:

- сервер до системи зберігання даних. Цей метод є традиційною моделлю взаємодії із запам'ятовуючими пристроями. Перевага полягає в тому, що до однієї СЗД можна отримати послідовний або одночасний доступ декільком серверам;
- сервер до серверу: SAN може використовуватися для високошвидкісного обміну великими обсягами даних між серверами.
- СЗД до СЗД: ця можливість руху зовнішніх даних дозволяє переміщувати дані без втручання сервера, таким чином звільняючи цикли центрального процесора сервера для інших дій, таких як обробка додатків. Наприклад:

система збереження даних, яка резервно копіює свої дані на стрічковий пристрій без втручання сервера, або віддалена СЗД, що дзеркально копіює свої дані через SAN.

SAN дозволяє додаткам, які переміщують дані, працювати ефективніше, наприклад, надсилаючи дані безпосередньо з вихідного пристрою на цільовий з мінімальним втручанням сервера. SAN дозволяє будувати мережі, де кілька хостів отримують доступ до декількох СЗД одночасно.

Використання SAN може забезпечити наступні переваги:

- покращення доступності додатків: Зберігання не залежить від програм і доступне через безліч шляхів передачі даних для кращої надійності, доступності та зручності обслуговування.
- Вища продуктивність додатків: обробка сховища завантажується з серверів і переміщується в окрему мережу.
- Централізоване та консолідоване сховище: простіші можливості управління, масштабованість, гнучкість та доступність.
- Захист від катастроф та зловмисних атак.
- Спрощене централізоване управління: єдине зображення носія інформації (LUN) спрощує управління.

Існує декілька вимог до сьогоденних інфраструктур зберігання:

- необмежена та своєчасна масштабованість: підприємствам потрібна можливість гнучко адаптуватися до швидко мінливих потреб у ресурсах сховища без погіршення продуктивності.
- Спрощення системи: Підприємствам потрібна проста у реалізації інфраструктура з мінімальним рівнем управління та обслуговування. Чим складніше середовище підприємства, тим більше витрат пов'язано з точки зору управління. Спрощена інфраструктура може заощадити витрати та забезпечити більшу рентабельність інвестицій.

- Гнучке та неоднорідне підключення. СЗД повина підтримувати будь-які платформи в ІТ-середовищі.
- Безпека. Ця вимога гарантує, що дані однієї програми чи системи не перекриваються та не пошкоджуються іншими програмами чи системами. Авторизація також вимагає можливості відгородити дані однієї системи від інших систем.
- Шифрування. Коли конфіденційні дані зберігаються, їх слід зчитувати або записувати лише з певних авторизованих систем. Якщо з якоїсь причини система зберігання вкрадена, дані ніколи не повинні бути доступними для зчитування.
- Гіпервізори. Ця вимога стосується підтримки функцій гіпервізора для віртуалізації сервера, додатків та робочого столу для хмарних обчислень.
- Швидкість. Мережі та пристрої зберігання даних повинні мати можливість керувати великою кількістю гігабайт та інтенсивним введенням / виводом, необхідним для кожної галузі бізнесу.
- Доступність. Ця вимога передбачає як захист від несправності носія, так і легкість міграції даних між пристроями, не перериваючи обробку додатків. Ця вимога, безумовно, передбачає вдосконалення процесів резервного копіювання та відновлення. Приєднання дискових та стрічкових пристроїв до однієї мережевої інфраструктури дозволяє швидко переміщувати дані між пристроями, що забезпечує наступні розширені можливості резервного копіювання даних.

2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

Існує декілька видів систем зберігання даних: блокові, файлові та об'єктні. Блокове сховище зберігає

дані на жорсткому диску у вигляді послідовності бітів або байтів фіксованого розміру. У блочній системі зберігання даних операційна система (ОС) підключається до накопичувачів напряму. Блокове сховище передає свої дані через наступні протоколи доступу:

- Fibre Channel (FC);
- iSCSI (Інтернет-протокол SCSI);
- SAS (послідовний приєднаний SCSI).

Файлові системи зберігання, такі як пристрої, що підключаються до мережі (NAS), часто називають «файловими сховищами» і найчастіше зберігають неструктуровані дані на жорсткому диску як файли в структурі каталогів. Ці пристрої мають власні процесори та ОС і доступ до них здійснюється за допомогою стандартних протоколів через локальну мережу (LAN). Комп'ютери під'єднані через локальну мережу можуть отримати доступ до будь-якого NAS сховища, незалежно від ОС комп'ютера.

Об'єктні СЗД використовують логічні конструкції для зберігання даних, їх ще називають об'єктами, вони зберігаються у плоскому адресному просторі замість ієрархічних файлових систем на основі каталогів, які є загальними у файлових системах зберігання. Об'єкт зберігає фактичні дані (наприклад, зображення або відео), метадані (наприклад, дату, розмір, тип камери) та унікальне ім'я, присвоєне при створенні об'єкта, його також використовують для посилання та пошуку об'єкта. На рисунку 2.1 зображено структуру об'єкта. Доступ до даних в об'єктній системі зберігання даних зазвичай здійснюється за

допомогою Інтернет-протоколу (HTTP) через веб-браузер або безпосередньо через інтерфейс програми (API). Плоский адресний простір в об'єктній СЗД забезпечує простоту та масштабованість. Об'єктне-сховище зазвичай використовується для хмарних служб зберігання даних [11].

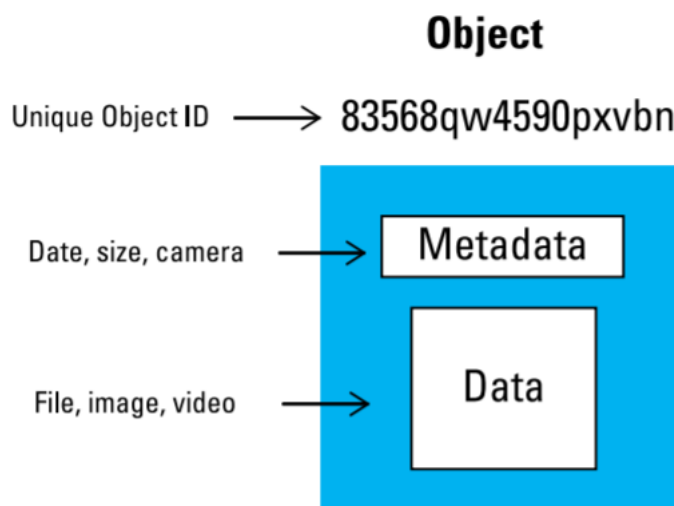


Рисунок 2.1 – Структура об'єкта

В даній магістерській дисертації досліджується робота блокових систем зберігання даних. Станом на сьогодні лідерами в даній галузі являються наступні компанії вендори: IBM, DELL, HPE, NetApp.

2.1 IBM

Модельний ряд блокових систем зберігання даних компанії IBM носить назву FlashSystem. Умовно він поділений на три підгрупи:

- 1) Системи початкового рівня – IBM FlashSystem 5015, 5035;
- 2) Системи рівня підприємств – IBM FlashSysyem 5200;
- 3) Системи рівня enterprise – IBM FlashSystem 7200.

IBM FlashSystem 5015 - це рішення початкового рівня, орієнтоване на доступність, простоту розгортання системи та її експлуатацію з потужними функціями масштабування. FlashSystem 5035 забезпечує більшу функціональність порівняно з 5015, вона включає можливості шифрування, компресії та дедублікації даних також 5035 має можливість до кластеризації для вертикального масштабування системи.

Технічні характеристики системи збереження даних 5015 наведені у таблиці 2.1. На рисунку 2.2 зображено зовнішній вигляд СЗД IBM FlashSystem 5015, 5035. Варто відзначити, що зовні вони відрізняються лише маркуванням.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики системи збереження даних 5015

| Модель СЗД | IBM FlashSystem 5015 |
|-------------------------------------|--|
| Кількість контролерів | 2 шт. |
| Базовий інтерфейс підключення | 1 Gb iSCSI |
| Опціональний інтерфейс підключення | 16 Gb/s Fibre Channel 12 Gb/s SAS 25 Gb/s iSCSI (iWARP or RoCE) 10 Gb/s iSCSI |
| Кількість кеш пам'яті на систему | 32 або 64 ГБ |
| Підтримувані носії | HDD, SSD |
| Максимальна кількість накопичувачів | 392 шт. |
| Форм-фактор | 2U |
| Робоче середовище | Температура повітря: Для працюючої системи: 10 - 35 ° C Для вимкненої системи: -10 - 50 ° C Відносна вологість павітря: |

| | |
|---------------------------|--|
| | Експлуатаційні: 20% - 85% В неробочому стані: 8% - 80% |
| Споживання енергії | 100 - 240 V AC або -48 V DC |
| Кількість блоків живлення | 2 шт. |
| Функціонал системи | Віртуалізація внутрішньої пам'яті Одностороння міграція даних |



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд СЗД IBM FlashSystem 5015, 5035

Технічні характеристики системи збереження даних 5035 наведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики системи збереження даних 5015

| | |
|------------------------------------|--|
| Модель СЗД | IBM FlashSystem 5035 |
| Кількість контролерів | 2 шт. |
| Базовий інтерфейс підключення | 4 x 10 Gb iSCSI |
| Опціональний інтерфейс підключення | 16 Gb/s Fibre Channel 12 Gb/s SAS 25 Gb/s iSCSI 10 Gb/s iSCSI |

| | |
|-------------------------------------|---|
| Кількість кеш пам'яті на систему | 32 або 64 ГБ |
| Підтримувані носії | HDD, SSD |
| Максимальна кількість накопичувачів | 504 шт. |
| Форм-фактор | 2U |
| Робоче середовище | Температура повітря: Для працюючої системи: 10 - 35 ° C Для вимкненої системи: -10 - 50 ° C Відносна вологість павітря: Експлуатаційні: 20% - 85% В неробочому стані: 8% - 80% |
| Споживання енергії | 100 - 240 V AC або -48 V DC |
| Кількість блоків живлення | 2 шт. |
| Функціонал системи | Віртуалізація внутрішньої пам'яті Компресія Дедуплікація Одностороння міграція даних Двосистемна кластеризація |

Традиційно жорсткі диски (HDD) підключаються до процесора за допомогою контролера вводу-виводу, який розташований в системі. Оскільки вимоги до продуктивності критично важливих для бізнесу додатків зростали, внутрішні жорсткі диски не встигали обробляти таку кількість запитів. Коли на ринку з'явилися флеш-накопичувачі або твердотільні накопичувачі (SSD), це дозволило комп'ютерним системам знаходити швидший, стійкий носій інформації поблизу процесора та забезпечувати продуктивність, необхідну для додатків з інтенсивним вводом/виводом. Однак через неефективність застарілих

протоколів зберігання та інтерфейсів, що їх підключають, не вдалося реалізувати повну продуктивність твердотільних накопичувачів. Оскільки продуктивність твердотільного накопичувача була значно кращою, ніж HDD, перехід все ж був виправданим. Однак, оскільки продуктивність процесора та пристроїв пам'яті продовжувала покращуватися, застарілі взаємозв'язки для зберігання стали «вузьким місцем» для продуктивності системи. Технологія NVMe розроблена з нуля, для того щоб реалізувати весь потенціал твердотільних носіїв інформації, таких як флеш-пам'ять і навіть технологія пам'яті наступного покоління (SCM). Перш за все використання технології NVMe передбачає використання нового інтерфейсу підключення, замість стандартного SAS інтерфейсу накопичувачі підключаються до PCIe роз'єму [3]. Шина Component Interconnect Express (PCIe), забезпечує кращий час відгуку виконання операції. На додачу окрім зміни інтерфейсу, було розроблено новий протокол, який збільшив кількість здійснюваних команд в одну одиницю часу в десятки разів.

Системи збереження даних IBM FlashSystem 5200 7200 9200 працюють на базі технології NVMe. На рисунку 2.3 зображено зовнішній вигляд СЗД 5200, технічні характеристики наведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики системи збереження даних 5200

| Модель СЗД | IBM FlashSystem 5200 |
|------------------------------------|---|
| Кількість контролерів | 2 шт. |
| Базовий інтерфейс підключення | 4 x 10 Gb iSCSI |
| Опціональний інтерфейс підключення | 16/32 Gb/s Fibre Channel 12 Gb/s SAS 25 Gb/s iSCSI 10 Gb/s iSCSI |

| | |
|---|---|
| Кількість кеш пам'яті на систему | 64/256/512 ГБ |
| Підтримувані носії | NVMe SSD, FCM SAS (HDD, SSD) SCM |
| Максимальна кількість накопичувачів | 736 шт. |
| Форм-фактор | 1U |
| Робоче середовище | Температура повітря: Для працюючої системи: 10 - 35 ° C Для вимкненої системи: -10 - 50 ° C Відносна вологість павітря: Експлуатаційні: 20% - 85% В неробочому стані: 8% - 80% |
| Споживання енергії | 100 - 240 V AC або -48 V DC |
| Кількість блоків живлення | 2 шт. |
| Максимальна кількість систем в кластері | 4 шт. |
| Функціонал системи | Віртуалізація внутрішньої пам'яті Віртуалізація зовнішньої пам'яті Компресія Дедуплікація Одностороння міграція даних Кластеризація чотирьох систем |



Рисунок 2.3 – IBM FlashSystem 5200

IBM FlashSystem 7200 - це корпус флеш-пам'яті NVMe, встановлений у стійку розміром 2U, який базується на технології флеш-пам'яті IBM та забезпечує основний інтерфейс управління (GUI). Корпуси керування IBM FlashSystem 7200 підтримують протокол FC та iSCSI. Для iSCSI підтримуються протоколи RoCE, і iWARP. На рисунку 2.4 зображено СЗД 7200, технічні характеристики наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики системи збереження даних 7200

| | |
|-------------------------------------|---|
| Модель СЗД | IBM FlashSystem 7200 |
| Кількість контролерів | 2 шт. |
| Базовий інтерфейс підключення | 8 x 10 Gb iSCSI |
| Опціональний інтерфейс підключення | 16/32 Gb/s Fibre Channel 12 Gb/s SAS 25 Gb/s iSCSI 10 Gb/s iSCSI |
| Кількість кеш пам'яті на систему | 256//512 ГБ |
| Підтримувані носії | NVMe SSD, FCM SAS (HDD, SSD) SCM |
| Максимальна кількість накопичувачів | 736 шт. |
| Форм-фактор | 2U |
| Робоче середовище | Температура повітря: |

| | |
|---|---|
| | <p>Для працюючої системи: 10 - 35 ° C</p> <p>Для вимкненої системи: -10 - 50 ° C</p> <p>Відносна вологість павітря:</p> <p>Експлуатаційні: 20% - 85%</p> <p>В неробочому стані: 8% - 80%</p> |
| Споживання енергії | 100 - 240 V AC або -48 V DC |
| Кількість блоків живлення | 2 шт. |
| Максимальна кількість систем в кластері | 4 шт. |
| Функціонал системи | <p>Віртуалізація внутрішньої пам'яті</p> <p>Віртуалізація зовнішньої пам'яті</p> <p>Компресія</p> <p>Дедуплікація</p> <p>Одностороння міграція даних</p> <p>Кластеризація чотирьох систем</p> |



Рисунок 2.3 – IBM FlashSystem 7200

2.2 DELL

Системи збереження даних компанії DELL мають у своєму портфоліо наступні системи:

- DELL EMC PowerVault ME4 Series (ME4)
- DELL EMC UNITY XT
- DELL EMC POWERSTORE

PowerVault ME4 є наймолодшою системою в модельному ряді СЗД. Її характеристики наведені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики системи збереження даних DELL ME4024 [20].

| | |
|-------------------------------------|--|
| Модель СЗД | DELL ME4024 |
| Кількість контролерів | 2 шт. |
| Процесор | Intel® Processor 2 cores 2.2GHz |
| Базовий інтерфейс підключення | 2 x 1 Gb iSCSI |
| Опціональний інтерфейс підключення | 16 Gb/s Fibre Channel 12 Gb/s SAS 10 Gb/s iSCSI |
| Кількість кеш пам'яті на систему | 16 ГБ |
| Підтримувані носії | SAS (HDD, SSD) |
| Максимальна кількість накопичувачів | 276 шт. |
| Форм-фактор | 2U |
| Робоче середовище | Температура повітря: Для працюючої системи: 5 - 35 ° C Для вимкненої системи: -40 - 65 ° C |

| | |
|---|---|
| | Відносна вологість повітря: Експлуатаційні: 10% - 80% В неробочому стані: 5% - 95% |
| Споживання енергії | 100 - 240 V AC |
| Кількість блоків живлення | 2 шт. |
| Максимальна кількість систем в кластері | 1 шт. |
| Функціонал системи | Віртуалізація внутрішньої пам'яті Одностороння міграція даних Easy Tier Snapshot SED encryption |

На рисунку 2.4 зображено систему збереження даних ME4024.



Рисунок 2.4 – DELL ME 4024

Системи зберігання даних Unity мають набагато кращі характеристики в порівнянні з ME4. По-перше, варто відзначити, що під даною назвою компанія DELL пропонує чотири СЗД: UNITY 380, 480, 680, 880. Чим вище номер системи тим більшу кількість операцій вводу виводу вона покаже. На відміну від систем збереження даних компанії IBM, Unity здатна працювати з файловими та блоковими протоколами передачі даних одночасно. На рисунку 2.5 зображено систему UNITY 480, її технічні характеристики наведені у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики системи збереження даних UNITY 480

| | |
|--|--|
| Модель СЗД | UNITY 480 |
| Кількість контролерів | 2 шт. |
| Процесор | 2 x dual-socket Intel CPUs, 32 cores per Array, 1.8GHz |
| Базові адаптери вводу/виводу | 4 x 12 Gb/s SAS |
| Опціональні адаптери вводу/виводу | 16 Gb/s Fibre Channel 12 Gb/s SAS 10 Gb/s iSCSI |
| Кількість кеш пам'яті на систему | 192 ГБ |
| Підтримувані носії | SAS (HDD, SSD) |
| Максимальний сирий об'єм системи збереження | 4ПБ |
| Форм-фактор | 2U |
| Робоче середовище | Температура повітря: Для працюючої системи: 5 - 35 ° C Для вимкненої системи: -40 - 65 ° C Відносна вологість павітря: Експлуатаційні: 10% - 80% В неробочому стані: 5% - 95% |
| Споживання енергії | 100 - 240 V AC |
| Кількість блоків живлення | 2 шт. |

| | |
|---|---|
| Максимальна кількість систем в кластері | 1 шт. |
| Функціонал системи | Віртуалізація внутрішньої пам'яті Одностороння міграція даних Easy Tier Snapshot SED encryption |



Рисунок 2.5 – DELL UNITY 480

Першою системою в сімействі вендора DELL, яка працює на базі технології NVMe являється PowerStore. Дана система унікальна тим, що її програмне забезпечення побудоване повністю на мікросервісній архітектурі. Такий підхід дозволяє користувачу самостійно обирати необхідний функціонал. Наприклад, якщо користувач використовує лише блокові протоколи передачі даних, він може відімкнути всі файлові сервіси, щоб збільшити швидкодію СЗД за рахунок додаткових ресурсів. Технічні характеристики наведено у таблиці 2.7.

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики PowerStore

| | |
|-----------------------|--|
| Модель СЗД | PowerStore 300 |
| Кількість контролерів | 2 шт. |
| Процесор | 2 x dual-socket Intel CPUs, 32 cores per Array, 1.8GHz |

| | |
|---|--|
| Базові адаптери вводу/виводу | 4 x 12 Gb/s SAS |
| адаптери вводу/виводу | 16 Gb/s Fibre Channel 12 Gb/s SAS 10 Gb/s iSCSI |
| Кількість кеш пам'яті | 192 ГБ |
| Підтримувані носії | SAS (HDD, SSD) |
| Максимальний сирий об'єм системи збереження | 4ПБ |
| Форм-фактор | 2U |
| Робоче середовище | Температура повітря: Для працюючої системи: 5 - 35 ° C Для вимкненої системи: -40 - 65 ° C Відносна вологість павітря: Експлуатаційні: 10% - 80% В неробочому стані: 5% - 95% |
| Споживання енергії | 100 - 240 V AC |
| Кількість блоків живлення | 2 шт. |
| Функціонал системи | Віртуалізація внутрішньої пам'яті Одностороння міграція даних Easy Tier Snapshot SED encryption |

2.3 Hewlett Packard Enterprise

Система зберігання даних початкового рівня компанії HPE носить назву MSA 2052. Дана система відрізняється від своїх аналогів можливістю використовувати SSD накопичувачі у якості кеш пам'яті СЗД. Цей функціонал особливо корисний при використанні конфігурацій з жосткими дисками, оскільки дані спочатку записуються на швидкі твердотільні носії після чого вже збережені дані переносяться на HDD накопичувачі. На рисунку 2.6 зображено СЗД MSA 2052 її передній та задній план відповідно, а її технічні характеристики наведено у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики MSA 2052

| | |
|---|--|
| Модель СЗД | MSA 2052 |
| Кількість контролерів | 2 шт. |
| Процесор | 2 x dual-socket Intel CPUs, 32 cores per Array, 1.8GHz |
| Базові адаптери вводу/виводу | 4 x 12 Gb/s SAS |
| адаптери вводу/виводу | 16 Gb/s Fibre Channel 12 Gb/s SAS 10 Gb/s iSCSI |
| Кількість кеш пам'яті | 192 ГБ |
| Підтримувані носії | SAS (HDD, SSD) |
| Максимальний сирий об'єм системи збереження | 4ПБ |
| Форм-фактор | 2U |
| Робоче середовище | Температура повітря: Для працюючої системи: 5 - 35 ° C Для вимкненої системи: -40 - 65 ° C |

| | |
|---------------------------|---|
| | Відносна вологість павітря: Експлуатаційні: 10% - 80% В неробочому стані: 5% - 95% |
| Споживання енергії | 100 - 240 V AC |
| Кількість блоків живлення | 2 шт. |
| Функціонал системи | Віртуалізація внутрішньої пам'яті Одностороння міграція даних Easy Tier Snapshot SED encryption |

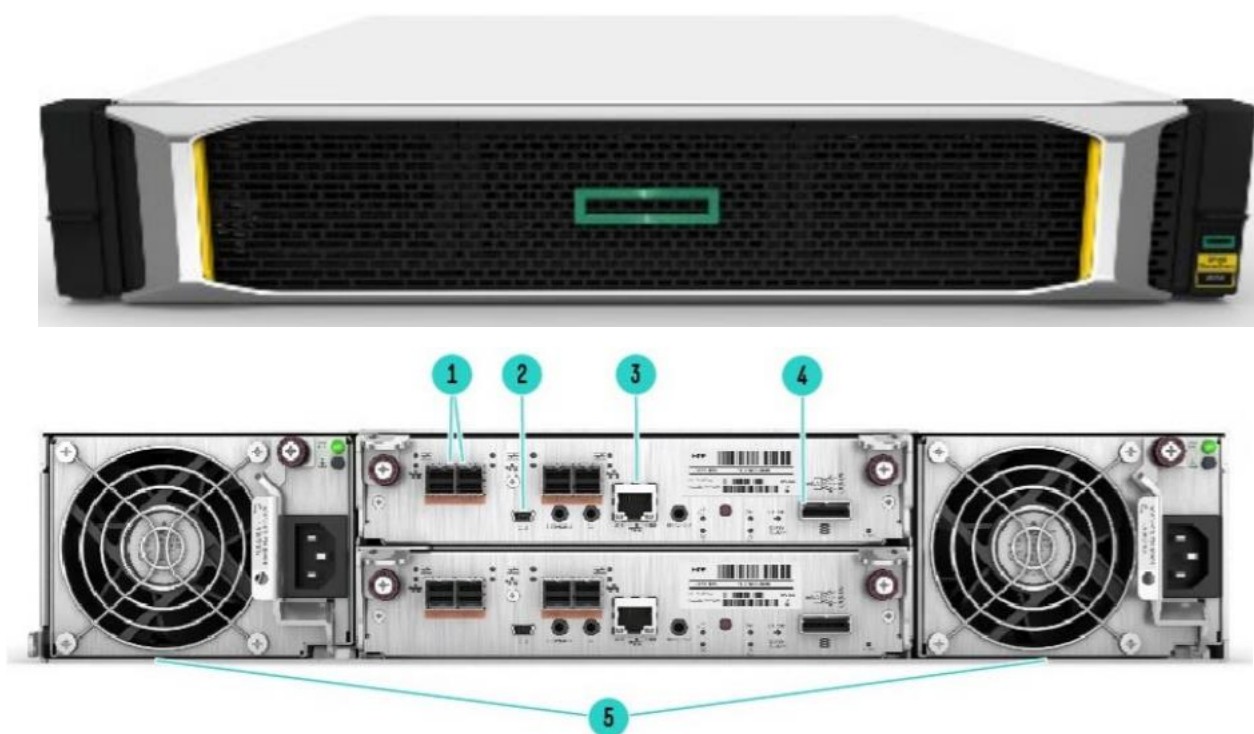


Рисунок 2.6 – HPE MSA 2052

На рисунку 2.6 можна спостерігати наступні умовні позначення:

- 1) порти для підключення хостів;
- 2) консольний порт;

- 3) менеджмент порти для керування СЗД;
- 4) порти для підключення полиць розширення;
- 5) блоки живлення.

Модельний ряд HPE Primera виглядає наступним чином, молодша модель має назву HPE Primera 630, після неї слідує Primera 650 і 670 відповідно. Два останніх масиви можуть мати два або чотири контролери в залежності від конфігурації. Масив спочатку створювався для конфігурації All Flash, але згодом стала доступна і гібридна модель масиву. З апаратної точки зору і з точки зору ОС вони нічим не відрізняються. На рисунку 2.7 зображено систему збереження даних HPE Primera 630. Технічні характеристики наведені у таблиці 2.8 та 2.9 [15].

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики Primera 630

| Модель СЗД | Primera 630 |
|---|---|
| Кількість контролерів | 2 шт. |
| Процесор | 2 x dual-socket Intel CPUs, 32 cores per Array, 1.8GHz |
| Базові адаптери вводу/виводу | 4 x 12 Gb/s SAS |
| адаптери вводу/виводу | 16 Gb/s Fibre Channel 12 Gb/s SAS 10 Gb/s iSCSI |
| Кількість кеш пам'яті | 192 ГБ |
| Підтримувані носії | SAS (HDD, SSD) |
| Максимальний сирий об'єм системи збереження | 4ПБ |
| Форм-фактор | 2U |
| Робоче середовище | Температура повітря: Для працюючої системи: 5 - 35 ° C |

| | |
|---------------------------|---|
| | Для вимкненої системи: -40 - 65 ° C Відносна вологість павітря: Експлуатаційні: 10% - 80% В неробочому стані: 5% - 95% |
| Споживання енергії | 100 - 240 V AC |
| Кількість блоків живлення | 2 шт. |
| Функціонал системи | Віртуалізація внутрішньої пам'яті Одностороння міграція даних Easy Tier Snapshot SED encryption |

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики Primera 670

| | |
|---|---|
| Модель СЗД | Primera 670 |
| Кількість контролерів | 2 шт. |
| Процесор | 2 x dual-socket Intel CPUs, 32 cores per Array, 1.8GHz |
| Базові адаптери вводу/виводу | 4 x 12 Gb/s SAS |
| адаптери вводу/виводу | 16 Gb/s Fibre Channel 12 Gb/s SAS 10 Gb/s iSCSI |
| Кількість кеш пам'яті | 192 ГБ |
| Підтримувані носії | SAS (HDD, SSD) |
| Максимальний сирий об'єм системи збереження | 4ПБ |
| Форм-фактор | 2U |
| Робоче середовище | Температура повітря: Для працюючої системи: 5 - 35 ° C |

| | |
|---------------------------|---|
| | Для вимкненої системи: -40 - 65 ° C Відносна вологість павітря: Експлуатаційні: 10% - 80% В неробочому стані: 5% - 95% |
| Споживання енергії | 100 - 240 V AC |
| Кількість блоків живлення | 2 шт. |
| Функціонал системи | Віртуалізація внутрішньої пам'яті Одностороння міграція даних Easy Tier Snapshot SED encryption |

Передня панель системи Primera майже не відрізняється від MSA 2052. Однак, якщо поглянути на задню панель системи, можна побачити, що кількість портів вводу/виводу значно перевершує кількість доступних портів в MSA 2052. На рисунку 2.7 зображено задню панель HPE Primera 670

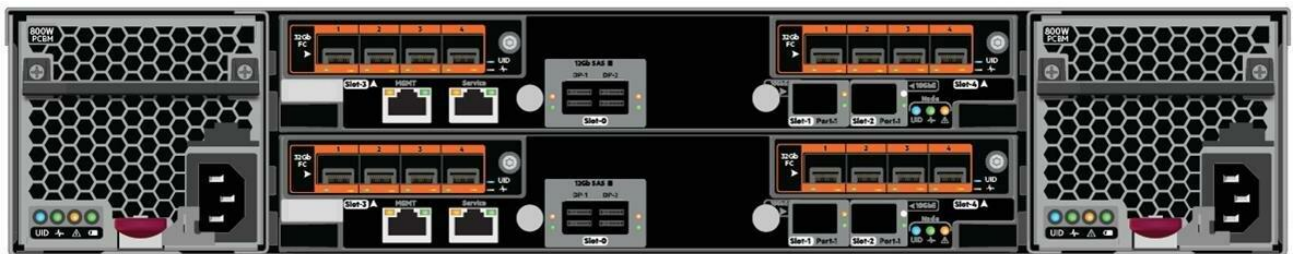


Рисунок 2.6 – HPE Primera 670

2.4 Функціонал сучасних СЗД

Функціонал систем зберігання даних, який використовують у сьогоденні, дозволяє забезпечити єдину точку управління сховищем, покращити доступність

бізнес додатків, оптимізувати зберігання ваших даних та забезпечує автоматичне створення копій, що дозволить швидко відновити роботу бізнесу у випадку аварійної ситуації. Як правило більшість вендорів дозволяє опціонально додавати необхідний для користувача функціонал, але існують функції, які по замовчуванню постачаються з коробки.

2.4.1 RAID

Надлишковий масив незалежних дисків (RAID) включає дві ключові цілі проектування: підвищення надійності даних та підвищення продуктивності вводу / виводу. Коли кілька фізичних дисків налаштовано для використання технології RAID, вони, як кажуть, знаходяться в масиві RAID. Хоча сам масив розподілений між кількома дисками в системі зберігання даних, він розглядається кінцевим користувачем та операційною системою як єдиний диск. Тепер операційна система отримує доступ до єдиного логічного диска, і RAID-адаптер обробляє розподіл даних на декількох дисках у масиві на основі вибраного рівня RAID.

RAID можна налаштувати за допомогою апаратних RAID-адаптерів або за допомогою програмного забезпечення операційної системи, що забезпечує функціональність RAID без необхідності використання апаратного RAID-адаптера. Апаратний RAID реалізований за допомогою адаптера вводу-виводу, який може бути інтегрованим пристроєм на системній платі або зовнішнім адаптером RAID на основі PCI. Апаратний RAID використовує інтелектуальний та надійний дисковий контролер та надлишковий масив дисків для захисту даних у разі відмови накопичувачів. Апаратні адаптери RAID підтримують різні рівні RAID, які можна налаштувати на основі індивідуальних потреб системи та додатків. Рівень для зберігання даних вибирається обирається самостійно користувачем у графічному інтерфейсі системи зберігання.

Програмний RAID налаштовується за допомогою функцій RAID, наданих операційними системами. Підтримувані рівні RAID можуть відрізнятися для різних операційних систем. Найчастіше конфігурованими програмними рівнями RAID є RAID 0 (смугастий) та RAID 1 (дзеркальне відображення) [12]. Програмний RAID надає функції без використання апаратного RAID-адаптера. Однак загалом апаратний RAID надає кращі можливості, ніж програмний RAID, при цьому досягаючи однакових або вищих рівнів захисту від несправностей дисків та адаптерів.

Найбільш часто використовувані рівні RAID - це 0, 1, 5, 6.

- RAID0, який також називають смуговим, розділяє дані на всіх дисках без будь-якої інформації про паритет, надмірності або стійкості до несправностей. Він може бути налаштований на кілька дисків з різними розмірами. Для налаштування RAID 0 потрібно мінімум два диски. RAID 0 зазвичай є хорошим вибором, коли продуктивність є найбільш важливою, а цілісність даних менш важлива. Він забезпечує найвищу продуктивність вводу-виводу для читання та запису. Оскільки цей рівень RAID не забезпечує надмірності даних, він зазвичай не використовується для критично важливих середовищ із жорсткими вимогами щодо доступності даних.
- RAID 1. Цей рівень записує однакову копію даних на всі диски, які є частиною масиву RAID 1. RAID 1 забезпечує найвищу доступність даних, оскільки блоки відображаються на кількох дисках і можуть захищати від однієї або декількох одночасних несправностей дисків залежно від загальної кількості дисків / копій у масиві. Це забезпечує хорошу продуктивність для операцій вводу-виводу із записом та найкращу продуктивність для операцій вводу-виводу читання. RAID 1 зазвичай налаштовується, коли цілісність даних є найбільш важливою, і робоче

навантаження більше зчитує дані, ніж записує. Для дзеркального відображення потрібно віддзеркалити мінімум два диски в масиві.

- RAID 2 виділяє дані на рівні бітів, а не на рівні блоків. Диски синхронізуються контролером для обертання в однаковій кутовій орієнтації. Оскільки всі диски налаштовані з власною корекцією коду помилки та іншими складними конфігураціями, даний тип RAID рідко реалізується. RAID 2 вимагає щонайменше чотири необроблених диска в масиві.
- RAID 3 складається з виділення на рівні байтів із виділеним парним диском. Однією з характеристик RAID 3 є те, що він, як правило, не може обслуговувати кілька запитів одночасно, оскільки будь-який окремий блок даних за визначенням буде розподілений по всіх членах набору і знаходитиметься в одному і тому ж місці. Тому будь-яка операція введення-виведення додає використання процесора на всі диски в масивах і зазвичай вимагає синхронізованих шпинделів. І RAID 3, і RAID 4 замінено на RAID 5. Для налаштування RAID 3 потрібні принаймні чотири вихідних диска.
- RAID 4 налаштовано за допомогою спеціального парного диска. Це забезпечує хорошу продуктивність у порівнянні з RAID 2 і RAID 3. RAID 4 вимагає щонайменше трьох необроблених дисків для налаштування масиву RAID. Він використовується рідко.
- RAID 5 складається з смугового рівня з розподіленою парністю. Інформація про парність розподіляється між усіма дисками в масиві RAID. Якщо один диск у масиві виходить з ладу, втрата даних не відбувається
- тому що всі дані можна відновити на новий диск. RAID 5 забезпечує хорошу продуктивність вводу-виводу для читання та запису. Для налаштування RAID 5 потрібно мінімум три диски.

- RAID 6 складається з смугового рівня з тим самим розподіленням диском парності, що і RAID 5, і додає додатковий або розширений диск парності в конфігурації масиву. Цей рівень може забезпечити кращий рівень захисту від відмови диска, ніж RAID 5. У порівнянні з продуктивністю RAID 5, RAID 6 пропонує кращу продуктивність для операцій читання, операції запису гірші через додаткову обробку, необхідну додатковому диску парності. RAID 6 вимагає щонайменше чотири вихідних диска для налаштування RAID 6.
- RAID 10 - це один із гібридних рівнів RAID, також відомий як RAID 1 + 0. Це поєднання дзеркального відображення диска з смужкою диска. Для налаштування RAID 10 потрібно мінімум чотири диски. Він забезпечує найкращу продуктивність вводу-виводу для читання та запису в масиві. Однак це не економічно, оскільки забезпечує лише 50% корисного дискового простору в загальній ємності масиву. Для цього рівня потрібно налаштувати принаймні чотири необроблені диски в масиві.
- RAID 50 - це нестандартна конфігурація, яка також відома як RAID 5 + 0. Це поєднання дискового смугування з одним парним диском. Для налаштування RAID 50 потрібно мінімум шість дисків. Він забезпечує найвищий захист даних навіть при багатьох несправностях диска.
- RAID 60 - це нестандартна конфігурація, яка також відома як RAID 6 + 0. Це поєднання дискової смужки з кількома дисками парності. Для налаштування RAID 60 потрібно мінімум вісім дисків.

2.4.2 Tiering

У багатьох програмах спостерігається значний перекис у розподілі робочого навантаження вводу-виводу. Невелика частка сховища відповідає за непропорційно велику частку від загального навантаження вводу-виводу

середовища. Easy Tier діє для виявлення цього перекосу та автоматичного розміщення даних, переміщуючи найгарячіші дані на найшвидший рівень сховища, у зв'язку з цим робоче навантаження на решту сховища значно зменшується, обслуговуючи більшу частину робочого навантаження програми з найшвидшого сховища, тим самим пришвидшуючи роботу програми. Easy Tier - це функція оптимізації продуктивності, яка автоматично мігрує (або переміщує) екстенти даних, які належать до тома між різними рівнями зберігання, залежно від їх навантаження вводу-виводу [17]. В результаті переміщення система не зберігає всі дані в одному рівні, а скоріше у двох-трьох рівнях одночасно. Кожен рівень забезпечує оптимальну ефективність для обсягу, як показано на рисунку 2.7.

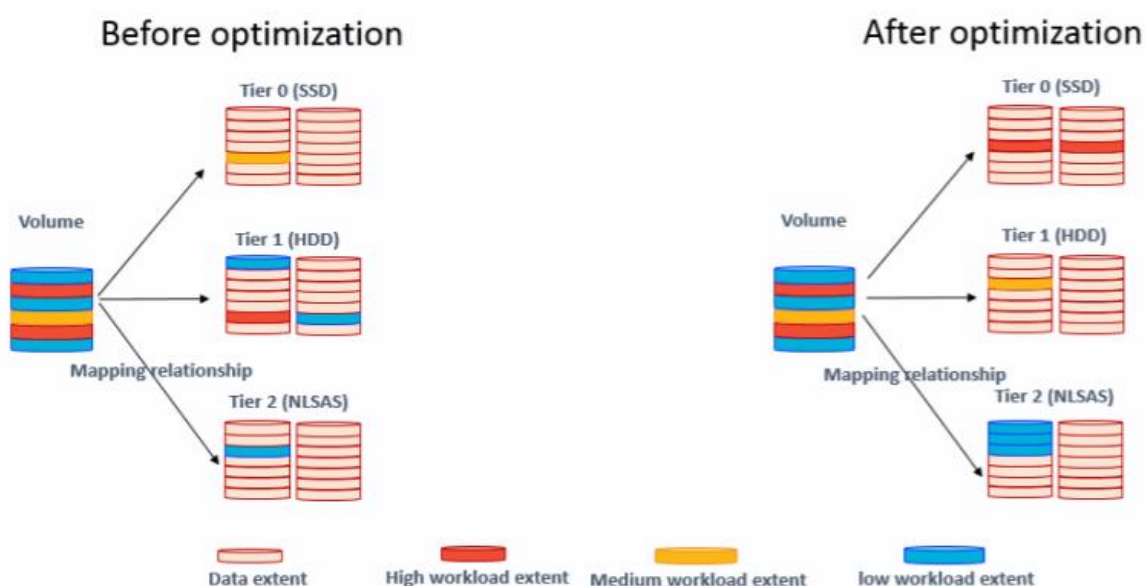


Рисунок 2.7 – Концепція роботи tiering

Easy Tier контролює активність вводу-виводу та затримку екстенів на всіх пулах зберігання для створення теплових карт. На їх основі він створює план міграції екстенів і просуває (переміщує) високу активність або гарячі екстенти на вищий рівень диска в тому ж пулі зберігання. Він також переносить екстенти, активність яких впала, переміщуючи їх з більш швидких дисків на повільніші.

Пули зберігання даних, що містять лише один рівень сховища, також можуть отримати вигоду від використання Easy Tier, якщо вони мають кілька дискових масивів. Easy Tier має режим балансування: він переміщує екстенди з масивів зайнятих дисків у менш зайняті масиви того ж рівня, балансуючи навантаження вводу-виводу [4].

2.4.3 SnapShot

Одним із методів прискорення резервного копіювання є мінімізація скопійованих даних. Дана технологія носить назву Snapshot, її суть полягає в тому, що система призупиняється на мить, поки робиться копія (знімок) метаданих. Цей процес займає значно меншу частку часу ніж повноцінне копіювання даних. Потім резервне копіювання виконується за допомогою метаданих для пошуку файлів. Якщо під час інших операцій вводу/виводу дані, які копіюються змінюються, оригінальні метадані також оновлюються, а створена копія знімка - ні, тому система не створюватиме резервні копії даних, доданих після створення знімка. Знімок має вказівники на більшість даних і містить фактичні дані лише тоді, коли копія повторно оновилася. Альтернативою, може бути призупинення роботи системи та початок повного резервного копіювання. Ця альтернатива безпечніша, але займає набагато більше часу і зупинить роботу запущених програм, доки резервне копіювання не буде завершено. Знімки значно скорочують вікно резервного копіювання, і вони особливо корисні, коли користувач постійно оновлює версії своїх додатків, оскільки повернути систему до стану останнього моментального знімка досить легко.

2.4.4 Data reduction and unmap

Функція unmap - це набір примітивів SCSI, що дозволяє хостам вказувати системі зберігання, що простір, виділений діапазону блоків на цільовому томі зберігання, більше не потрібен. Ця команда дозволяє контролеру сховища вживати заходів та оптимізувати систему, щоб простір можна було використовувати повторно для інших цілей. Наприклад, найпоширенішим варіантом використання є програма VMware, що звільняє пам'ять у файловій системі. Потім контролер зберігання може виконувати функції для оптимізації простору, наприклад, реорганізувати дані на томі. Коли хост виділяє пам'ять, дані поміщаються в том. Щоб звільнити виділений простір назад до пулів зберігання, використовується функція SCSI Unmap. Це дозволяє хост-операційним системам вимкнути зберігання на контролері сховища, щоб ресурси могли автоматично звільнятися в пулах зберігання та використовуватись для інших цілей.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ МОДЕЛІ ОЦІНКИ ПРОДУКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЗБЕРІГАННЯ ДАНИХ В СЕРЕДОВИЩІ STORAGE MODELLER

Продуктивність систем зберігання даних вимірюється кількістю операцій вводу/виводу, які вони здатні виконувати за одиницю часу (IOPS) [7]. Для розробки моделі яка буде оцінювати вплив методів економії ємності на продуктивність системи збереження даних, необхідно спершу чітко визначитись з системами, які будуть підтримувати технології компресії та дедублікації даних. В даній магістерській дисертації було прийнято рішення для моделювання використати системи збереження даних IBM FlashSystem 5035 та IBM FlashSystem 5200 це зумовлено тим, що система 5035 підтримує програмну компресію та дедуплікацію даних, а система 5200 в свою чергу використовує апаратні прискорювачі для досягнення цього ж функціоналу. Технічні характеристики даних систем приведені у розділі 2.

3.1 Основні поняття робочих навантажень

Продуктивність системи зберігання залежить не тільки від її конфігурації, а в першу чергу від програм, які виконують свою діяльність вводу-виводу в системі зберігання. Інтенсивність та характеристика діяльності вводу-виводу називається профілем навантаженням. Детальні атрибути робочих навантажень, як правило, визначаються замовником, який запускає програми.

Профіль навантажування складається з наступних пунктів:

- розмір блоку передачі. Даний атрибут вказує на розмір передаваних даних від серверу до системи зберігання даних та навпаки.
- Відношення кількості операцій зчитування до операцій запису. Це зумовлено тим, що час виконання однієї операції зчитування значно

менший за час виконання операції запису, отже і кількість IOPS напряму залежить від даного показника.

- Характеристики пулів зберігання даних. Більшість сучасних СЗД здатні вмикати алгоритми компресії та дедублікації на рівні пулів, варто відзначити, що їх використання пришвидшує утилізацію центрального процесору системи, який своєю чергу на сьогодні є «вузьким місцем» СЗД.
- Кількість та об'єм використаних накопичувачів та вибраний RAID-рівень.

3.2 Storage Modeller

Storage Modeller – це програмне забезпечення, яке дозволяє користувачеві створювати об'єкти робочого навантаження, що представляють активність вводу-виводу для різних програм, які використовуватимуть змодельовану систему зберігання даних. В залежності від обраної системи, надається можливість обирати: об'єм та швидкості обертання жорсткого диску, обсяг флеш-накопичувачів, рівнів RAID та інших підтримуваних характеристик, що стосуються конкретної системи зберігання даних. З урахуванням усіх можливих конфігурацій стає проблемою розрахувати фізичну та ефективну ємність різних систем зберігання. Користувачеві потрібно глибоке технічне розуміння того, як призначаються запасні та паритетні диски, беручи до уваги одночасне використання дисків з різною ємністю та конфігурацією.

Функція ємності, яка є частиною програмного забезпечення Storage Modeller пропонує графічний інтерфейс, який дозволяє вводити конфігурацію накопичувача, необхідну ємність та інші характеристики. За допомогою цих параметрів Storage Modeller автоматично обчислює та відображає фізичну та ефективну ємність зберігання. Також даний функціонал передбачає динамічну зміну конфігурації системи збереження з урахуванням усіх застосовних до неї правил. Також варто відзначити, що на відмінну від аналогів, дане ПЗ дозволяє

виставляти бажаний коефіцієнт компресії та дедублікації даних, це дає змогу бути впевненим, що вхідні дані для всіх моделей будуть однаковими.

3.3 Алгоритм побудови моделі СЗД

Система IBM FlashSystem 5035 входить до сімейства СЗД IBM FlashSystem 5000. Для того, щоб розпочати побудову моделі, необхідно знайти її профайл у графічному інтерфейсі Storage Modeller. На рисунку 3.1 зображено меню вибору профайлів систем збереження.

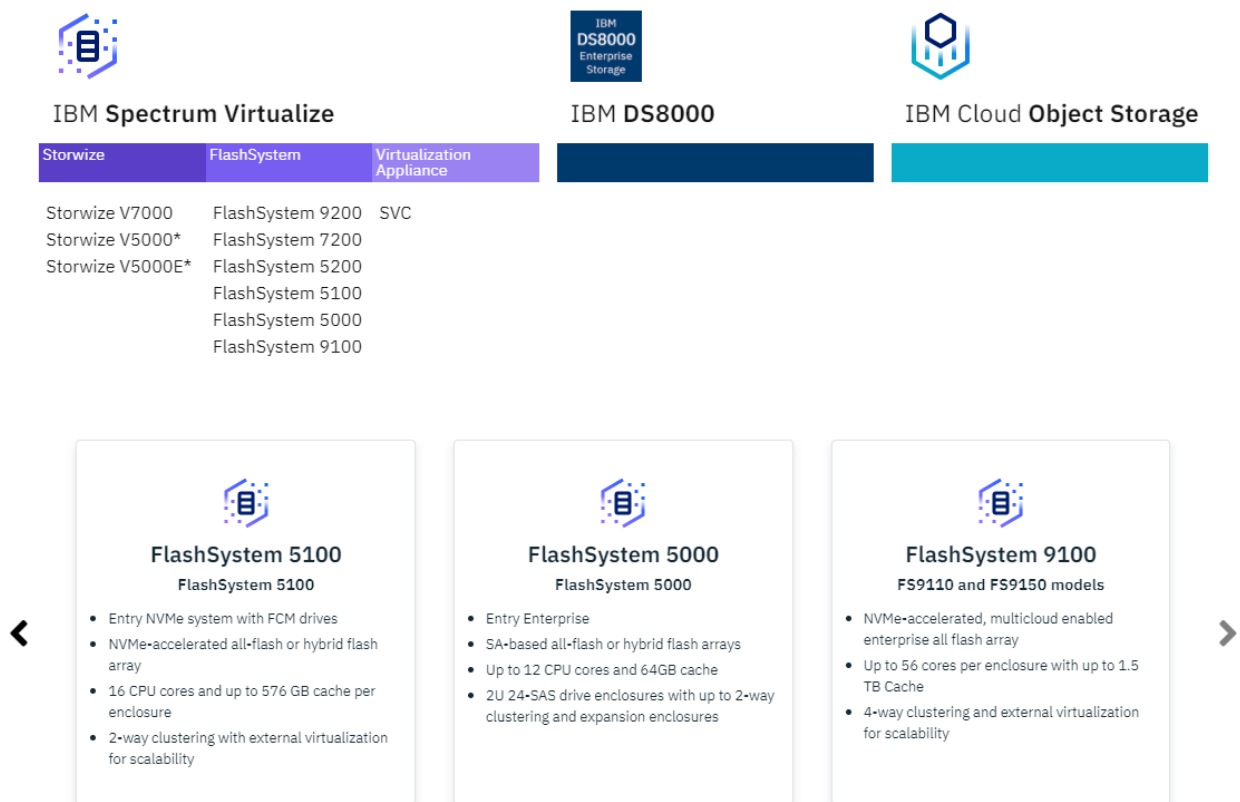


Рисунок 3.1 – Меню вибору профайлу системи збереження

Після чого буде запропоновано обрати систему збереження та налаштувати кількість встановленої кеш пам'яті на систему. На рисунку 3.2 зображено доступні варіанти вибору кількості кешу для системи зберігання даних

FlashSystem 5035. Для нашої моделі буде використовуватися конфігурація з 64 гігабайтами кеша на систему.

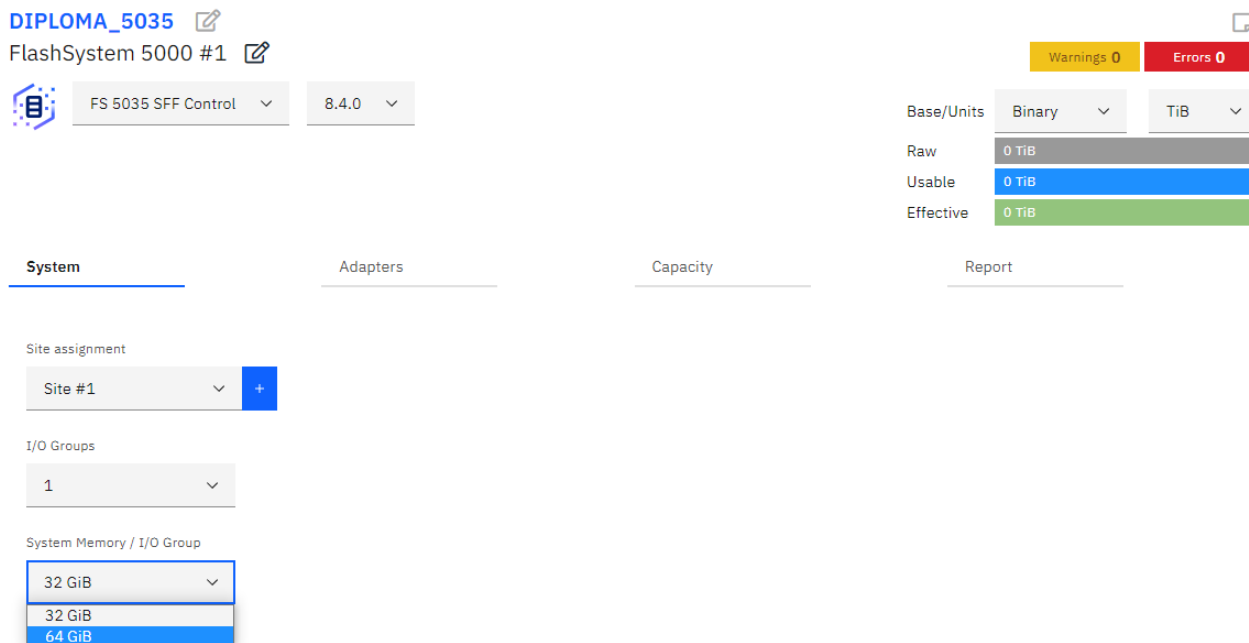


Рисунок 3.2 – Меню вибору кількості кеш пам'яті

Після вибору параметрів можна переходити до вибору адаптерів вводу/виводу та протоколу передачі даних який буде використовуватися для з'єднання з хостом. Для СЗД 5035 доступні наступні адаптери вводу/виводу:

- 16 Gb/s Fibre Channel
- 12 Gb/s SAS
- 10 Gb/ sSCSI або 25 Gb/ sSCSI

Для нашої моделі обрано два 16 Gb/s Fibre Channel адаптери кожен з яких налічує по чотири порти. Даний тип обладнання вибрано у зв'язку з тим, що вони забезпечують найвищу продуктивність для даної системи збереження. На рисунку 3.3 зображено меню вибору адаптерів.

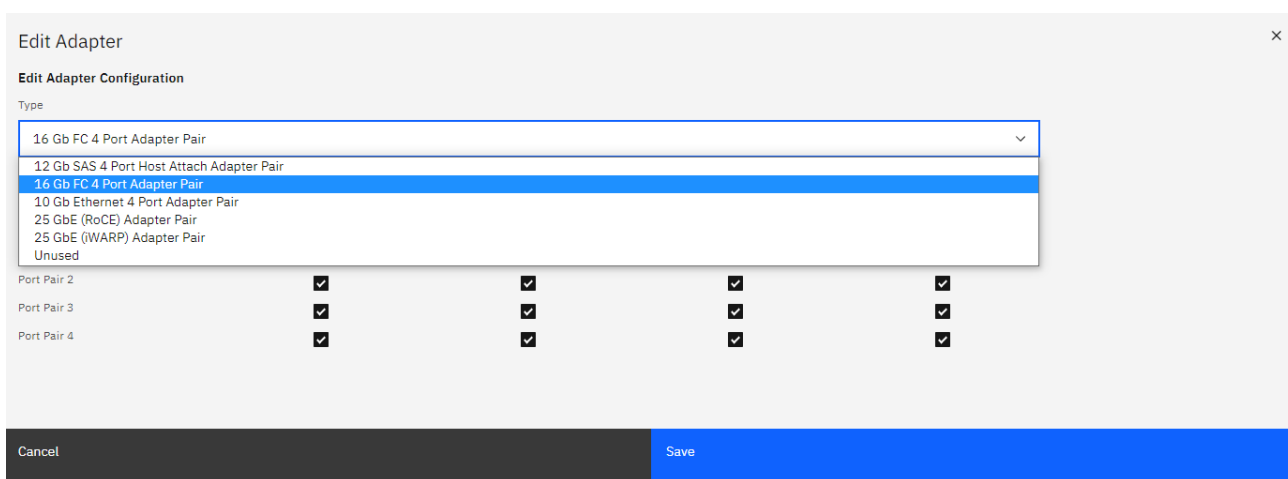


Рисунок 3.3 – Меню вибору адаптерів

Після того, як було обрано необхідні адаптери, необхідно перейти до сторінки «Capacity». Даний етап є дуже важливим у процесі моделювання системи, оскільки для того, щоб дізнатись вплив алгоритмів компресії та дедублікації на СЗД збереження необхідно спочатку промодельовати її роботу без їх використання. Процес включення алгоритмів компресії та дедублікації досягається за рахунок створення спеціального пулу збереження даних. Він носить назву Data Reduction Pool (DRP) [18]. Якщо система створює DRP замість звичайного регулярного пулу, у користувача з'являється можливість використання методів скорочення ємності. При використанні пулів зменшення даних на FlashSystem 5100 або FlashSystem 5030, дані хоста можуть бути стиснуті або стиснуті та дедупліковані, перш ніж вони будуть записані на накопичувачі. Стиснення DRP сімейства FlashSystem базується на алгоритмі стиснення даних без втрат Лемпеля-Зива і методі роботи в режимі реального часу [19]. Коли хост відправляє запит на запис, запит підтверджується кешем запису системи, а потім передається в DRP. В рамках індексування запит на запис проходить через механізм стиснення, а потім зберігається у стислому форматі. Цей процес відбувається прозоро для серверу. Стиснення DRP підтримується на FlashSystem 5100. У каністрах вузлів цієї системи встановлений апаратний прискорювач

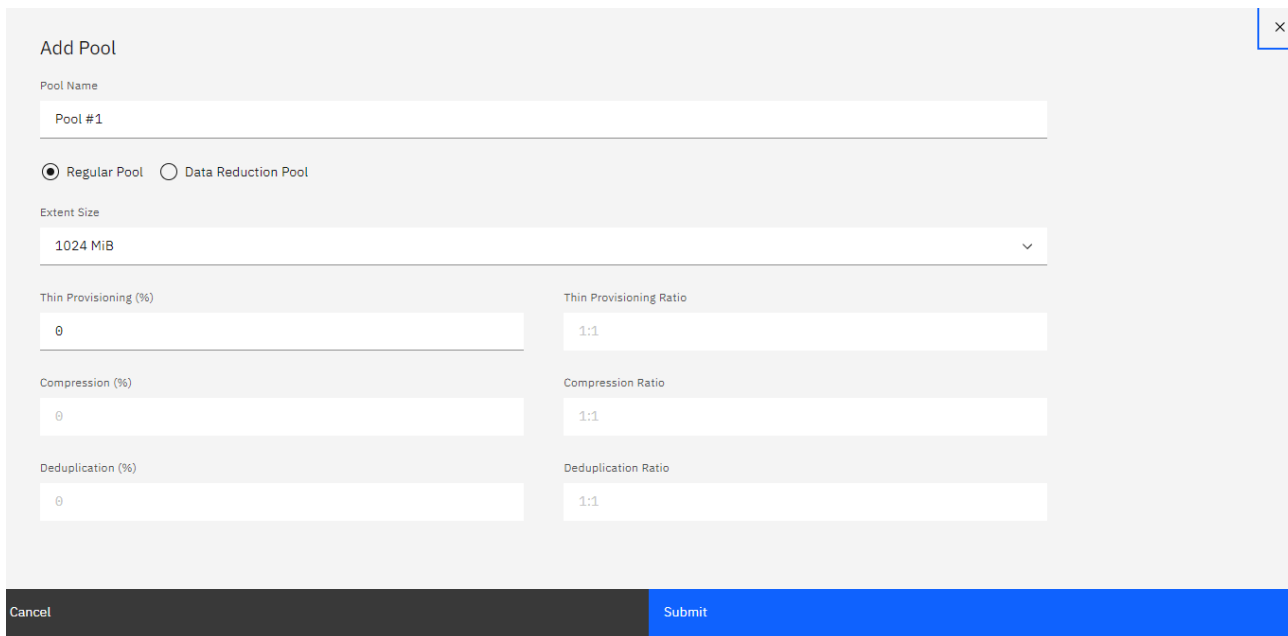
стиснення, який збільшує пропускну здатність передач вводу-виводу між вузлами та стисненими обсягами. FlashSystem 5030 з конфігурацією кеш-пам'яті 64 ГБ (32 ГБ оперативної пам'яті на кожен вузол) також підтримує стиснення DRP. Однак ця система не має апаратного прискорювача стиснення, а використовує процесор каністри для стиснення даних. У зв'язку з цим потрібно дотримуватися чіткого планування необхідної продуктивності СЗД. Системи FlashSystem 5010 та FlashSystem 5030 з 16 ГБ оперативної пам'яті на кожен вузол не підтримують компресію та дедуплікацію даних.

Дедуплікацію можна налаштувати за допомогою тонко наданих та стиснених томів у пулах зменшення даних для додаткової економії ємності. Процес дедублікації визначає унікальні фрагменти даних або шаблони байтів і зберігає підпис фрагмента для довідки під час запису нових фрагментів даних. Якщо підпис нового фрагмента відповідає існуючому підпису, новий фрагмент замінюється невеликим посиланням, яке вказує на збережений фрагмент. Збіги виявляються при записі даних. Один і той же шаблон байту може траплятися багато разів, в результаті чого обсяг даних, який потрібно зберігати, значно зменшується.

Дедуплікація підтримується на томах DRP в системах FlashSystem 5100. Вона також може бути реалізована на FlashSystem 5030 з функцією кешування 64 ГБ. Однак це може бути менш ефективним у порівнянні з FlashSystem 5100, оскільки розмір бази даних підписів обмежений на цій моделі. Щоб допомогти з профілюванням та аналізом існуючих навантажень, які необхідно перенести на систему сімейства FlashSystem 5000, можна використовувати інструмент оцінки зменшення даних (DRET). DRET - це дуже точна утиліта на базі командного рядка для оцінки економії зменшення даних на блочних пристроях зберігання даних. Інструмент сканує цільові навантаження на різних масивах даних, об'єднує всі результати сканування та забезпечує оцінку зменшення даних. Стиснення та дедуплікація не є взаємовиключними; можна ввімкнути одну або

обидві функції, або жодну. Якщо ввімкнути обидві функції, дані спочатку дедуплікуються, а потім стискаються. Тому посилання на дедуплікацію створюються на стиснених даних.


Для створення моделі, яка не використовує функціонал компресії та дедублікації необхідно створити звичайний пул зберігання (RG), як зображено на рисунку 3.4.






The screenshot shows a 'Add Pool' dialog box. It includes a 'Pool Name' field with 'Pool #1', a radio button selection for 'Regular Pool' (selected) and 'Data Reduction Pool', an 'Extent Size' dropdown set to '1024 MiB', and three pairs of input fields for 'Thin Provisioning (%)', 'Compression (%)', and 'Deduplication (%)', each with a corresponding 'Ratio' field set to '1:1'. At the bottom are 'Cancel' and 'Submit' buttons.




Рисунок 3.4 – Меню створення дискового пулу

Після додавання RG пулу необхідно створити том даних, який буде його частиною. На рисунку 3.5 зображено меню в якому відображаються створенні пули та томи даних.

FlashSystem 5000 #1 

 FS 5035 SFF Control  8.4.0 

Warnings **0** Errors **0**

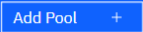
Base/Units  Binary  TiB 

Raw **0 TiB**

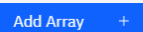
Usable **0 TiB**

Effective **0 TiB**

System Adapters **Capacity** Report

Pools 

| Pool | Extent Size | Pool Type | Thin Provisioning | Compression | Deduplication | Usable Capacity | Effective Capacity |
|---------|-------------|--------------|-------------------|-------------|---------------|-----------------|--------------------|
| Pool #1 | 1024 | Regular Pool | 0 | | | 0.00 TiB | 0.00 TiB |

Internal Arrays 

| Array Type | Grouping | I/O Group | Drives | Arrays | Drive Type | Usable Capacity |
|------------|----------|-----------|--------|--------|------------|-----------------|
|------------|----------|-----------|--------|--------|------------|-----------------|

Рисунок 3.5 – Меню сторінки Capacity

Для даної системи існують наступні рекомендації, для отримання найкращої продуктивності СЗД:

- 1) Дисковий пул має містити не менше тринадцяти накопичувачів.
- 2) Тип накопичувачів – SSD.
- 3) Луни повинні бути об'єднанні в RAID 6

Для даної моделі створено пул з 13 дисків типу SSD кожен з яких має об'єм 3.84 ТБ. На рисунку 3.6 зображено меню з необхідними для створення тому параметрами.

рисунок 3.6 - Меню створення тому зберігання

В меню створення тому можна спостерігати наступні поля для заповнення:

- I/O Groups. У випадку, коли моделюється кластерна конфігурація СЗД, вона має декілька груп вводу/виводу. Тобто якби система 5035 працювала у двохкластерній конфігурації, необхідно було б обрати на якій I/O групі будуть зберігатися дані.
- Pool. У випадку коли моделюється робота СЗД з двома або більшою кількістю пулів, користувач може обрати, до якого з пулів йому віднести даний том [15].
- Drive Technology. СЗД 5035 підтримує три типи накопичувачів: жорсткі диски зі швидкістю обертання шпинделю 7.2K rpm носять назву Nearline HDD, диски 10K rpm називаються Enterprise HDD. Оскільки твердотільні накопичувачі являються найшвидшим носієм інформації в даній системі зберігання даних, їх назва походить від найшвидшого рівня тірингу, а саме Tier 1 SSD. Для нашої моделі необхідно вибрати технологію Tier 1 SSD.

- Enclosure Type. Контролерне шасі в 5035 системі максимально може вмістити 24 накопичувачі. У випадку, якщо користувач захоче збільшити кількість дисків, він може придбати додаткову полицю розширення, яка буде підключена до контролерною завдяки протоколу SAS 12 Gb/s.
- Drive Type. Дане поле потребує обрати необхідний об'єм носія, який буде використовуватися для моделювання.
- Effective capacity. Даний пункт дозволяє користувачеві необхідний для нього ефективний об'єм.
- Number of Drives. Дозволяє вказати необхідну кількість накопичувачів, які повинні входити в RAID групу.
- RAID Type. Вибір бажаного рівня RAID на базі якого буде працювати масив.
- Rebuild Areas. Дозволяє встановити бажану кількість spare-накопичувачів. У разі виходу із ладу диску який був частиною RAID-групи інформація автоматично відновлюється на накопичувачі типу spare.
- Target Grouping. Після того як користувач обрав необхідний рівень RAID. Необхідно обрати його довжину. Вираз $10 + P + Q$ означає, що дисковий набір даних складається з десяти накопичувачів, а умовні позначення P та Q відповідають за parity-накопичувачі.

На рисунку 3.7 зображено меню сторінки Capacity в де відображаються створені пули та LUN масиву.

FlashSystem 5000 #1

FS 5035 SFF Control

8.4.0

Warnings 0

Errors 0

Base/Units

Binary

TiB

Raw

45.40 TiB

Usable

34.71 TiB

Effective

34.71 TiB

System

Adapters

Capacity

Report

Pools

Add Pool +

| Pool | Extent Size | Pool Type | Thin Provisioning | Compression | Deduplication | Usable Capacity | Effective Capacity |
|---------|-------------|--------------|-------------------|-------------|---------------|-----------------|--------------------|
| Pool #1 | 1024 | Regular Pool | 0 | | | 34.71 TiB | 34.71 TiB |

Internal Arrays

Add Array +

| Array Type | Grouping | I/O Group | Drives | Arrays | Drive Type | Usable Capacity |
|--------------------|----------|-----------|--------|--------|--------------------------|-----------------|
| Distributed RAID 6 | 10+P+Q | 0 | 13 | 1 | 3.84 TB 2.5" Flash Drive | 34.75 TiB |

Рисунок 3.7 – Заповнене меню сторінки Capacity

Кінцевий звіт ємності створеного дискового пулу наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Звіт отриманого об’єму

| Summary Report | | |
|--|---------------|--------------------------|
| Number of I/O groups: | 1 | |
| Number of pools: | 1 | |
| Number of arrays: | 1 | |
| Number of drives: | 13 | |
| Number of external virtualized MDisks: | 0 | |
| Number of enclosures: | 1 | (0 expansion enclosures) |
| FS 5035 SFF Control: | 1 | |
| Raw capacity: | 49,922.84 GB | 49.92 TB |
| | 46,494.27 GiB | 45.40 TiB |
| Effective capacity: | 38,159.71 GB | 38.16 TB |
| | 35,539.00 GiB | 34.71 TiB |

Після створення дискового пулу. Можна переходити до налаштувань профілю навантажень. Перша частина меню «Performance» зображено на рисунку 3.8.

Requirements Systems Canvas **Performance** Solution Assurance History

Workloads Reports

Workload Name ⛔ Incomplete

FlashSystem 5035

Workload Template

Open Systems

Host

Host #1

Storage System

FlashSystem 5000 #1

Pool

Pool #1

Effective Capacity

34.7 TiB

Рисунок 3.8 – Меню Performance

Для створення профілю навантаження, спочатку необхідно створити хост, який буде імітувати запити вводу/виводу за протоколами передачі даних Fibre Channel. На рисунку 3.9 зображено меню створення серверу.

Add Host

Host Name

DEMO TEST HOST

Platform

Open

Site assignment

Site #1

Interface Protocol

Fibre Channel

Fibre Channel

iSCSI

SAS

RoCE

iWARP

NVMe/FC

рисунок 3.9 - Меню створення серверу

Особливу увагу варто звернути на доступні протоколи передачі даних хосту. Окрім звичного FC з'єднання користувач може обрати протокол NVMe/FC. NVMe over Fiber Channel - це повнофункціональна, високоефективна технологія передачі даних на основі протоколу NVMe. Оскільки система 5035 не підтримує NVMe накопичувачі то і використовувати вищезгаданий протокол не можна.

Після створення хосту, необхідно обрати раніше створений пул даних, та під'єднати його характеристики до нашого профілю навантаження. На виході наша модель має наступні вхідні параметри:

- Блок передачі даних - 8 Kib;
- Процентне відношення кількості операцій зчитування до операцій запису: 70/30 %;
- Відсоток даних які будуть зчитуватися з кеш пам'яті системи.

На рисунку 3.10 зображено меню параметрів навантаження.

| | | |
|------------------------------|--------------------------------------|--|
| Read I/O Percentage (%) | <input type="text" value="70"/> | Calculator  |
| Total I/O Rate (ops/s) | <input type="text" value="2000000"/> | |
| Read Transfer Size (KiB/op) | <input type="text" value="8"/> | |
| Write Transfer Size (KiB/op) | <input type="text" value="8"/> | |
| Cache Read Hit (%) | <input type="text" value="30"/> | Estimator  |

рисунок 3.10 - Меню параметрів навантаження

3.3 Результати роботи моделі СЗД 5035

По закінченню моделювання, отримуємо наступні дані:

- Таблицю утилізації ресурсів в залежності від IOPS;
- Таблиця з даними про час виконання однієї операції при різних кількостях IOPS;
- Графік залежності часу виконання однієї команди від IOPS

3.3.1 Продуктивність СЗД 5035 без використання алгоритмів компресії та дедублікації

У таблиці 3.2 наведено степінь утилізації системи при різних IOPS без ввімкненого функціоналу компресії та дедублікації даних. Таблиця 3.3 наводить час виконання однієї операції при різних IOPS.

Таблиця 3.2 – степінь утилізації системи при різних IOPS без ввімкненого функціоналу компресії та дедублікації даних.

| FlashSystem 5000 #1 FS5000 / 8.4.0 | | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------|---------------|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Peak IO/s | | | Total I/O Rate (I/Os per second) | | | | | |
| Utilizations | Amber Threshold | Red Threshold | 131050 | 135278 | 139505 | 202917 | 207144 | 211372 |
| System Core | 60% | 80% | 60,5% | 62,4% | 64,4% | 93,7% | 95,6% | 97,6% |
| NVMe Drive Interface | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest SCM Drive | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest NVMe Flash | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| SAS Drive Interface | 60% | 80% | 23,0% | 23,7% | 24,4% | 35,5% | 36,3% | 37,0% |
| Highest Tier 0 SSD | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest Tier 1 SSD | 60% | 80% | 61,9% | 63,9% | 65,9% | 95,9% | 97,9% | 99,9% |
| Highest Enterprise HDD | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest Nearline HDD | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest FC Adapter | 60% | 80% | 12,9% | 13,3% | 13,7% | 19,9% | 20,3% | 20,7% |
| Highest FC Port | 60% | 80% | 2,1% | 2,2% | 2,2% | 3,3% | 3,3% | 3,4% |

| | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| Highest Ethernet Adapter | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest Ethernet Port | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest SAS Adapter | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest SAS Port | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Metro Mirror Write (MiB/s) | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Global Mirror Write (MiB/s) | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Таблиця 3.3 - час виконання однієї операції при різних IOPS

| FlashSystem 5000 #1 FS5000 / 8.4.0 | | | | |
|------------------------------------|-------------------|---------------|--------------|---------------|
| FlashSystem 5035 | | Service Time | | |
| I/O Rate (ops/s) | Data Rate (MiB/s) | Total (ms/op) | Read (ms/op) | Write (ms/op) |
| 143733 | 1122,9 | 0,65 | 0,66 | 0,61 |
| 147960 | 1155,9 | 0,67 | 0,69 | 0,63 |
| 152187 | 1189,0 | 0,70 | 0,72 | 0,66 |
| 156415 | 1222,0 | 0,73 | 0,76 | 0,68 |
| 160642 | 1255,0 | 0,77 | 0,80 | 0,71 |
| 164870 | 1288,0 | 0,81 | 0,84 | 0,74 |
| 169097 | 1321,1 | 0,86 | 0,89 | 0,77 |
| 173325 | 1354,1 | 0,91 | 0,95 | 0,80 |
| 177552 | 1387,1 | 0,97 | 1,03 | 0,84 |
| 181780 | 1420,2 | 1,05 | 1,12 | 0,89 |
| 186007 | 1453,2 | 1,15 | 1,24 | 0,95 |
| 190234 | 1486,2 | 1,28 | 1,40 | 1,02 |
| 194462 | 1519,2 | 1,46 | 1,61 | 1,11 |
| 198689 | 1552,3 | 1,71 | 1,92 | 1,23 |
| 200000 | 1562,5 | 1,82 | 2,05 | 1,29 |
| 202917 | 1585,3 | 2,13 | 2,42 | 1,43 |
| 207144 | 1618,3 | 2,90 | 3,37 | 1,79 |
| 211372 | 1651,3 | 4,89 | 5,82 | 2,70 |

На рисунку 3.11 – зображено графік залежності IOPS від часу обслуговування однієї команди для SSD накопичувачів

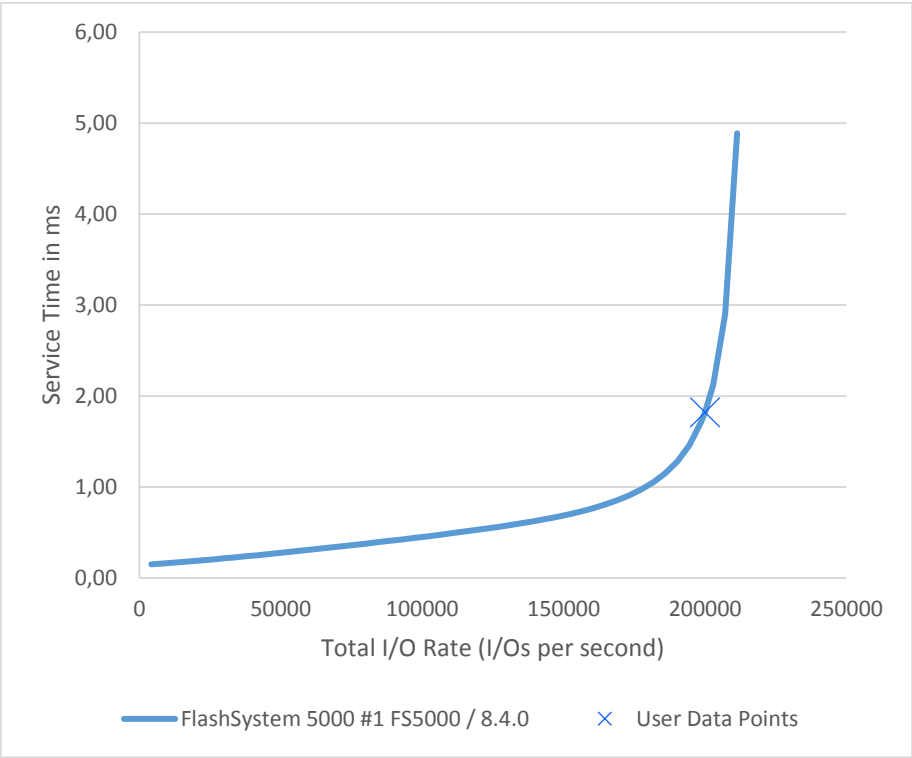


Рисунок 3.11 - зображено графік залежності IOPS від часу обслуговування однієї команди для SSD накопичувачів

3.3.2 модель з використанням програмних алгоритмів компресії

Побудуємо аналогічні моделі для цієї ж системи зберігання даних але з включеними функціями компресії та дедублікації по чергово. Для того, щоб ввімкнути вищевказаний функціонал необхідно створити Data Reduction Pool, В таблиці 3.4 – зображено вихідні параметри ємності з урахуванням використання алгоритму компресії, коефіцієнт стискання 2:1.

Таблиця 3.4 - Параметри ємності з урахуванням використання алгоритму компресії, коефіцієнт стискання 2:1

| Summary Report | | |
|-----------------------|---|--|
| Number of I/O groups: | 1 | |
| Number of pools: | 1 | |
| Number of arrays: | 1 | |

| | | |
|--|---------------|-----------|
| Number of drives: | 13 | |
| Number of external virtualized MDisks: | 0 | |
| Number of enclosures: | 1 | |
| FS 5035 SFF Control: | 1 | |
| Raw capacity: | 49,922.84 GB | 49.92 TB |
| | 46,494.27 GiB | 45.40 TiB |
| Effective capacity: | 67,422.40 GB | 67.42 TB |
| | 62,792.00 GiB | 61.32 TiB |

У таблиці 3.5 наведено степінь утилізації системи при різних IOPS з ввімкненим функціоналом програмної компресії даних з коефіцієнтом стискування 2:1. Таблиця 3.6 містить дані про час виконання однієї операції при різних IOPS при ввімкненій компресії.

Таблиця 3.5 – Степінь утилізації системи при різних IOPS з ввімкненим функціоналом компресії даних.

| FlashSystem 5000 #2 FS5000 / 8.4.0 | | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------|---------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Peak IO/s | | | Total I/O Rate (I/Os per second) | | | | | |
| Utilizations | Amber Threshold | Red Threshold | 43870 | 45982 | 51034 | 55293 | 56104 | 62349 |
| System Core | 60% | 80% | 61,9% | 63,9% | 75,9% | 81,9% | 83,9% | 99,9% |
| NVMe Drive Interface | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest SCM Drive | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest NVMe Flash | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| SAS Drive Interface | 60% | 80% | 5,0% | 5,2% | 6,1% | 6,6% | 6,8% | 8,1% |
| Highest Tier 0 SSD | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest Tier 1 SSD | 60% | 80% | 13,5% | 13,9% | 16,5% | 17,8% | 18,3% | 21,8% |
| Highest Enterprise HDD | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest Nearline HDD | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest FC Adapter | 60% | 80% | 2,8% | 2,9% | 3,4% | 3,7% | 3,8% | 4,5% |
| Highest FC Port | 60% | 80% | 0,5% | 0,5% | 0,6% | 0,6% | 0,6% | 0,7% |
| Highest Ethernet Adapter | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest Ethernet Port | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest SAS Adapter | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |

| | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| Highest SAS Port | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Metro Mirror Write (MiB/s) | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Global Mirror Write (MiB/s) | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Таблиця 3.6 - Час виконання однієї операції при різних кількостях IOPS

| FlashSystem 5000 #2 FS5000 / 8.4.0 | | | | |
|------------------------------------|-------------------|---------------|--------------|---------------|
| flashsystem 5035 comp | | Service Time | | |
| I/O Rate (ops/s) | Data Rate (MiB/s) | Total (ms/op) | Read (ms/op) | Write (ms/op) |
| 921 | 7,2 | 1,18 | 1,24 | 1,06 |
| 1842 | 14,4 | 1,23 | 1,28 | 1,10 |
| 2763 | 21,6 | 1,26 | 1,31 | 1,14 |
| 3684 | 28,8 | 1,29 | 1,34 | 1,16 |
| 4605 | 36,0 | 1,31 | 1,36 | 1,19 |
| 5526 | 43,2 | 1,33 | 1,38 | 1,21 |
| 6447 | 50,4 | 1,35 | 1,40 | 1,22 |
| 7368 | 57,6 | 1,36 | 1,42 | 1,24 |
| 8289 | 64,8 | 1,38 | 1,43 | 1,25 |
| 9210 | 72,0 | 1,39 | 1,45 | 1,27 |
| 10131 | 79,2 | 1,41 | 1,46 | 1,28 |
| 11052 | 86,3 | 1,42 | 1,48 | 1,30 |
| 11973 | 93,5 | 1,44 | 1,49 | 1,31 |
| 12894 | 100,7 | 1,45 | 1,50 | 1,33 |
| 13815 | 107,9 | 1,47 | 1,52 | 1,34 |
| 14736 | 115,1 | 1,48 | 1,53 | 1,35 |
| 15657 | 122,3 | 1,50 | 1,55 | 1,37 |

На рисунку 3.11 – зображено графік залежності IOPS від часу обслуговування для SSD накопичувачів з ввімкненим функціоналом компресії.

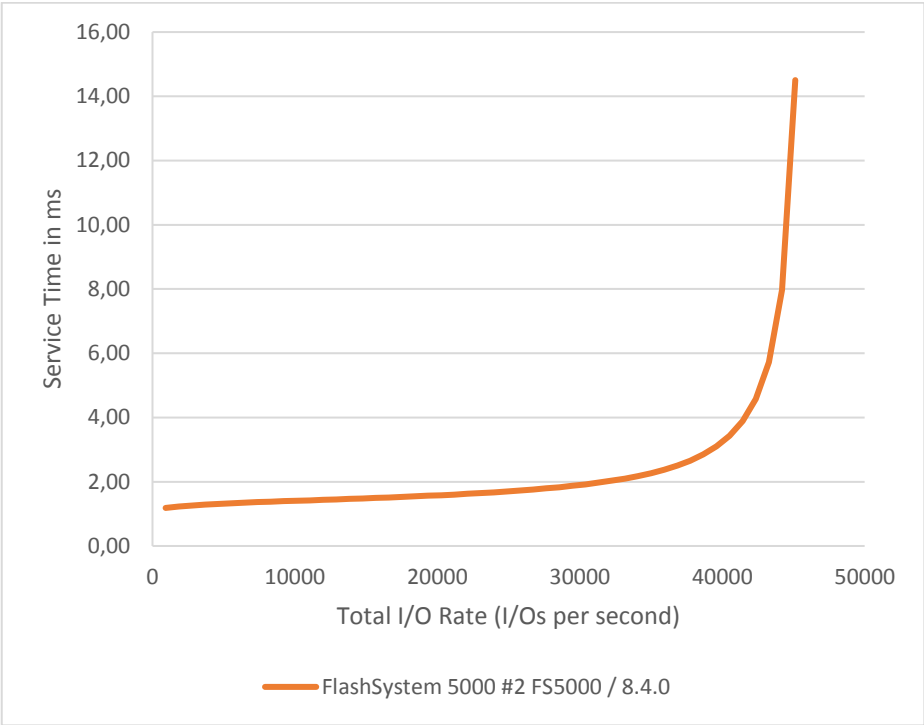


Рисунок 3.12 - Графік залежності IOPS від часу обслуговування для SSD накопичувачів з використанням програмного алгоритму компресії.

3.3.3 модель з використанням програмної дедублікації

В таблиці 3.7 – зображено вихідні параметри ємності СЗД з урахуванням використання алгоритму дедублікації, коефіцієнт стискання 1,2 :1.

Таблиця 3.7 - Параметри ємності з урахуванням використання алгоритму дедублікації, коефіцієнт стискання 2:1

| Summary Report | | |
|--|----|--|
| Number of I/O groups: | 1 | |
| Number of pools: | 1 | |
| Number of arrays: | 1 | |
| Number of drives: | 13 | |
| Number of external virtualized MDisks: | 0 | |
| Number of enclosures: | 1 | |

| | | |
|----------------------|---------------|-----------|
| FS 5035 SFF Control: | 1 | |
| Raw capacity: | 49,922.84 GB | 49.92 TB |
| | 46,494.27 GiB | 45.40 TiB |
| Effective capacity: | 42,139.00 GB | 42.14 TB |
| | 39,245.00 GiB | 38.33 TiB |

У таблиці 3.8 наведено ступінь утилізації системи при різних IOPS з ввімкненим функціоналом програмної дедублікації даних з коефіцієнтом стискування 1,2 : 1. Таблиця 3.9 наводить дані про час виконання однієї операції при різних IOPS.

Таблиця 3.8 – Ступінь утилізації системи при різних IOPS з ввімкненим програмним алгоритмом дедублікації даних

| FlashSystem 5000 #3 FS5000 / 8.4.0 | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------|---------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Peak IO/s | | | Total I/O Rate (I/Os per second) | | | | | | |
| Utilizations | Amber Threshold | Red Threshold | 26822 | 27688 | 35475 | 36340 | 41531 | 42397 | 43262 |
| System Core | 60% | 80% | 61,9% | 63,9% | 81,9% | 83,9% | 95,9% | 97,9% | 99,9% |
| NVMe Drive Interface | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest SCM Drive | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest NVMe Flash | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| SAS Drive Interface | 60% | 80% | 4,7% | 4,9% | 6,2% | 6,4% | 7,3% | 7,4% | 7,6% |
| Highest Tier 0 SSD | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest Tier 1 SSD | 60% | 80% | 12,7% | 13,1% | 16,8% | 17,2% | 19,6% | 20,0% | 20,4% |
| Highest Enterprise HDD | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest Nearline HDD | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest FC Adapter | 60% | 80% | 8,7% | 8,9% | 11,5% | 11,7% | 13,4% | 13,7% | 14,0% |
| Highest FC Port | 60% | 80% | 0,9% | 1,0% | 1,3% | 1,3% | 1,5% | 1,5% | 1,5% |
| Highest Ethernet Adapter | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest Ethernet Port | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest SAS Adapter | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest SAS Port | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |

Таблиця 3.9 - Час виконання однієї операції при різних IOPS

| |
|------------------------------------|
| FlashSystem 5000 #3 FS5000 / 8.4.0 |
|------------------------------------|

| flashsystem 5035 dedup | | Service Time | | |
|------------------------|-------------------|---------------|--------------|---------------|
| I/O Rate (ops/s) | Data Rate (MiB/s) | Total (ms/op) | Read (ms/op) | Write (ms/op) |
| 865 | 6,8 | 1,28 | 1,24 | 1,37 |
| 1730 | 13,5 | 1,34 | 1,29 | 1,46 |
| 2596 | 20,3 | 1,38 | 1,32 | 1,53 |
| 3461 | 27,0 | 1,42 | 1,35 | 1,59 |
| 4326 | 33,8 | 1,45 | 1,37 | 1,63 |
| 5191 | 40,6 | 1,48 | 1,40 | 1,67 |
| 6057 | 47,3 | 1,50 | 1,41 | 1,71 |
| 6922 | 54,1 | 1,53 | 1,43 | 1,75 |
| 7787 | 60,8 | 1,55 | 1,45 | 1,78 |
| 8652 | 67,6 | 1,57 | 1,46 | 1,81 |
| 9518 | 74,4 | 1,59 | 1,48 | 1,84 |
| 10383 | 81,1 | 1,61 | 1,49 | 1,87 |
| 11248 | 87,9 | 1,63 | 1,51 | 1,90 |
| 12113 | 94,6 | 1,65 | 1,53 | 1,93 |
| 12979 | 101,4 | 1,67 | 1,54 | 1,96 |
| 13844 | 108,2 | 1,69 | 1,56 | 1,99 |
| 14709 | 114,9 | 1,71 | 1,57 | 2,02 |
| 15574 | 121,7 | 1,73 | 1,59 | 2,06 |

На рисунку 3.13 – зображено графік залежності IOPS від часу обслуговування для SSD накопичувачів при ввімкненій дедублікації даних

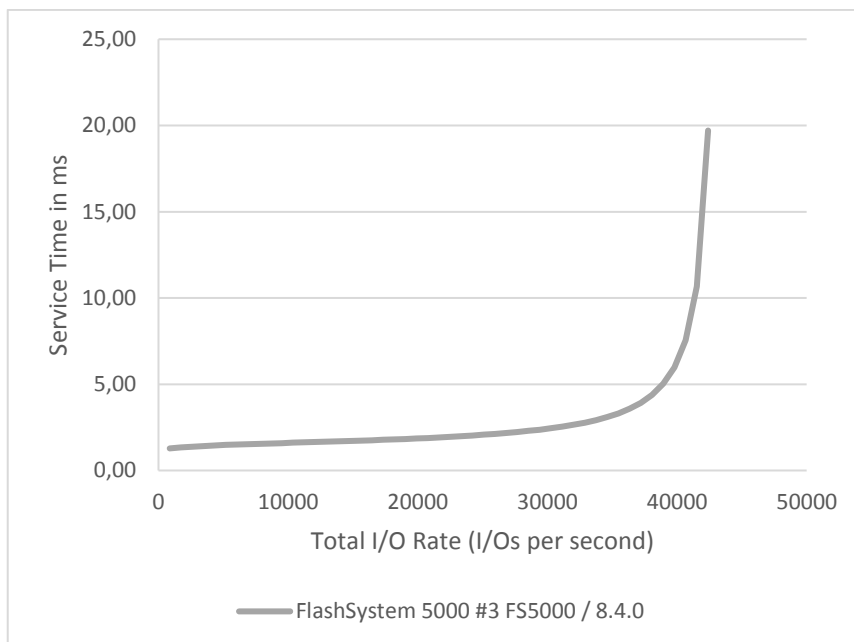


Рисунок 3.13 - Графік залежності IOPS від часу обслуговування для SSD накопичувачів при ввімкненій дедублікації даних

3.4 Результати роботи моделі СЗД 5200

Система зберігання даних FlashSystem 5200 на відміну від 5035 використовує апаратні прискорювачі, які дозволяють оптимізувати роботу СЗД при включенні алгоритмів компресії та дедублікації. Процес створення моделі відрізняється лише тим, що обираємо інший профайл системи.

3.4.1 модель без використання алгоритмів компресії та дедублікації

У таблиці 3.9 наведено дані які наводять ступінь утилізації системи зберігання без ввімкненого функціоналу компресії та дедублікації даних при пікових значеннях IOPS. Таблиця 3.10 наводить дані про час виконання однієї операції при різних IOPS .

Таблиця 3.9 – ступінь утилізації системи зберігання без ввімкненого функціоналу компресії та дедублікації даних при пікових значеннях IOPS.

| FlashSystem 5000 #1 FS5200 / 8.4.0 | | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------|---------------|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Peak IO/s | | | Total I/O Rate (I/Os per second) | | | | | |
| Utilizations | Amber Threshold | Red Threshold | 208501 | 215226 | 316114 | 322840 | 329566 | 336291 |
| System Core | 60% | 80% | 61,9% | 63,9% | 93,9% | 95,9% | 97,9% | 99,9% |
| NVMe Drive Interface | 60% | 80% | 8,2% | 8,5% | 12,5% | 12,7% | 13,0% | 13,3% |
| Highest SCM Drive | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest NVMe Flash | 60% | 80% | 58,3% | 60,2% | 88,4% | 90,3% | 92,2% | 94,0% |
| SAS Drive Interface | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest Tier 0 SSD | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest Tier 1 SSD | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest Enterprise HDD | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest Nearline HDD | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |

| | | | | | | | | |
|--------------------------|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Highest FC Adapter | 60% | 80% | 7,4% | 7,6% | 11,2% | 11,4% | 11,7% | 11,9% |
| Highest FC Port | 60% | 80% | 20,0% | 20,6% | 30,3% | 31,0% | 31,6% | 32,2% |
| Highest Ethernet Adapter | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest Ethernet Port | | | 0,00 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest SAS Adapter | | | 0,00 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |

Таблиця 3.10 - час виконання однієї операції вводу/виводу при різних IOPS

| FlashSystem 5200 #1 FS5200 / 8.4.0 | | | | |
|------------------------------------|-------------------------|------------------|-----------------|------------------|
| 5200_no comp_dedup | | Service Time | | |
| I/O Rate (ops/s) | Data Rate (MiB/s) | Total (ms/op) | Read (ms/op) | Write (ms/op) |
| 6726 | 52,5 | 0,23 | 0,27 | 0,13 |
| 13452 | 105,1 | 0,23 | 0,28 | 0,13 |
| 20177 | 157,6 | 0,24 | 0,28 | 0,13 |
| 26903 | 210,2 | 0,24 | 0,29 | 0,13 |
| 33629 | 262,7 | 0,25 | 0,30 | 0,14 |
| 40355 | 315,3 | 0,25 | 0,30 | 0,14 |
| 47081 | 367,8 | 0,26 | 0,31 | 0,14 |
| 53807 | 420,4 | 0,26 | 0,32 | 0,14 |
| 60532 | 472,9 | 0,27 | 0,32 | 0,14 |
| 67258 | 525,5 | 0,28 | 0,33 | 0,15 |
| 73984 | 578,0 | 0,28 | 0,34 | 0,15 |
| 80710 | 630,5 | 0,29 | 0,34 | 0,15 |
| 87436 | 683,1 | 0,29 | 0,35 | 0,15 |
| 94162 | 735,6 | 0,30 | 0,36 | 0,15 |
| 100887 | 788,2 | 0,30 | 0,37 | 0,16 |
| 107613 | 840,7 | 0,31 | 0,37 | 0,16 |
| 114339 | 893,3 | 0,32 | 0,38 | 0,16 |
| 121065 | 945,8 | 0,32 | 0,39 | 0,16 |
| 127791 | 998,4 | 0,33 | 0,40 | 0,17 |
| 134517 | 1050,9 | 0,34 | 0,41 | 0,17 |
| 141242 | 1103,5 | 0,35 | 0,42 | 0,17 |
| 147968 | 1156,0 | 0,36 | 0,43 | 0,18 |

На рисунку 3.14 – зображено графік залежності IOPS від часу обслуговування для SSD накопичувачів

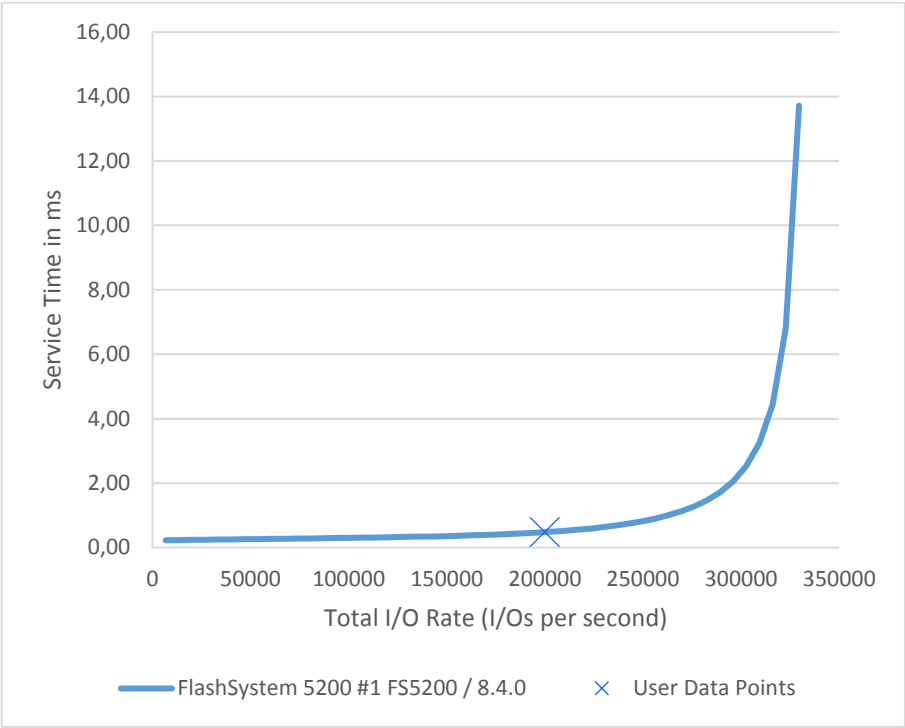


Рисунок 3.14 - Графік залежності IOPS від часу обслуговування для SSD накопичувачів

3.4.2 модель з використанням апаратного алгоритму компресії

В таблиці 3.11 – зображено вихідні параметри ємності з урахуванням використання апаратної компресії, коефіцієнт стискання 2:1.

Таблиця 3.11 - параметри ємності з урахуванням використання алгоритму апаратної компресії, коефіцієнт стискання 2:1

| Summary Report | | |
|--|----|--|
| Number of I/O groups: | 1 | |
| Number of pools: | 1 | |
| Number of arrays: | 1 | |
| Number of drives: | 12 | |
| Number of external virtualized MDisks: | 0 | |
| Number of enclosures: | 1 | |

| | | |
|----------------------|---------------|-----------|
| FS 5200 SFF Control: | 1 | |
| Raw capacity: | 49,922.84 GB | 49.92 TB |
| | 46,494.27 GiB | 45.40 TiB |
| Effective capacity: | 67,422.40 GB | 67.42 TB |
| | 62,792.00 GiB | 61.32 TiB |

Степінь утилізації системи зберігання з ввімкненим функціоналом апаратної компресії даних наведено у таблиці 3.12. Таблиця 3.13 наводить дані необхідного часу для виконання однієї операції вводу/виводу при різних IOPS.

Таблиця 3.12 – Продуктивність системи зберігання даних з ввімкненим програмним алгоритмом компресії даних

| FlashSystem 5000 #1 FS5200 / 8.4.0 | | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------|---------------|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Peak IO/s | | | Total I/O Rate (I/Os per second) | | | | | |
| Utilizations | Amber Threshold | Red Threshold | 147937 | 149388 | 221279 | 223774 | 225398 | 229375 |
| System Core | 60% | 80% | 61,9% | 63,9% | 93,9% | 95,9% | 97,9% | 99,9% |
| NVMe Drive Interface | 60% | 80% | 2,7% | 2,8% | 4,1% | 4,2% | 4,3% | 4,4% |
| Highest SCM Drive | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest NVMe Flash | 60% | 80% | 18,2% | 18,8% | 27,6% | 28,2% | 28,8% | 29,4% |
| SAS Drive Interface | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest Tier 0 SSD | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest Tier 1 SSD | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest Enterprise HDD | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest Nearline HDD | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest FC Adapter | 60% | 80% | 2,4% | 2,5% | 3,7% | 3,7% | 3,8% | 3,9% |
| Highest FC Port | 60% | 80% | 6,6% | 6,8% | 9,9% | 10,1% | 10,4% | 10,6% |
| Highest Ethernet Adapter | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |

| | | | | | | | |
|-----------------------|--|------|------|------|------|------|------|
| Highest Ethernet Port | | 0,00 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest SAS Adapter | | 0,00 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |

Таблиця 3.13 - час виконання однієї операції вводу/виводу при різних IOPS

| FlashSystem 5200 #2 FS5200 / 8.4.0 | | | | |
|------------------------------------|----------------------|------------------|-----------------|------------------|
| 5200_comp | | Service Time | | |
| I/O Rate (ops/s) | Data Rate (MiB/s) | Total (ms/op) | Read (ms/op) | Write (ms/op) |
| 13227 | 103,3 | 1,26 | 1,69 | 0,26 |
| 15432 | 120,6 | 1,33 | 1,78 | 0,27 |
| 17636 | 137,8 | 1,39 | 1,86 | 0,28 |
| 19841 | 155,0 | 1,45 | 1,94 | 0,29 |
| 22045 | 172,2 | 1,50 | 2,02 | 0,30 |
| 24250 | 189,4 | 1,56 | 2,09 | 0,31 |
| 26454 | 206,7 | 1,61 | 2,16 | 0,32 |
| 28659 | 223,9 | 1,67 | 2,24 | 0,33 |
| 30863 | 241,1 | 1,72 | 2,31 | 0,34 |
| 33068 | 258,3 | 1,78 | 2,39 | 0,35 |
| 35272 | 275,6 | 1,83 | 2,46 | 0,36 |
| 37477 | 292,8 | 1,89 | 2,54 | 0,37 |
| 39681 | 310,0 | 1,95 | 2,62 | 0,38 |
| 41886 | 327,2 | 2,01 | 2,70 | 0,39 |
| 44090 | 344,5 | 2,07 | 2,79 | 0,41 |
| 46295 | 361,7 | 2,14 | 2,88 | 0,42 |
| 48499 | 378,9 | 2,21 | 2,97 | 0,43 |
| 50704 | 396,1 | 2,28 | 3,07 | 0,44 |

На рисунку 3.15 – зображено графік залежності кількості IOPS від часу обслуговування для SSD накопичувачів

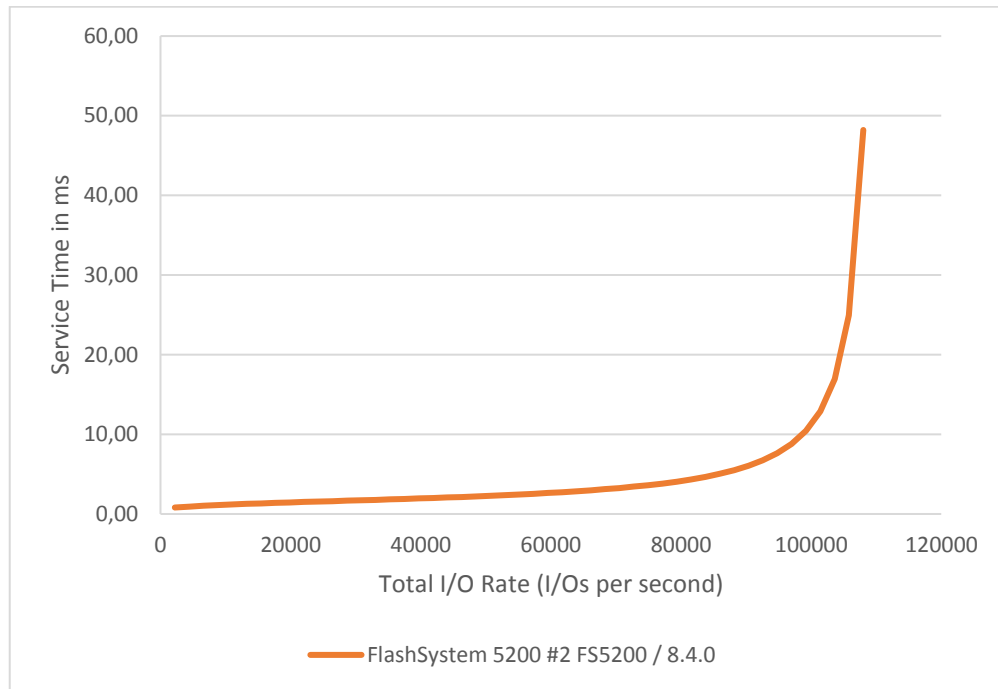


Рисунок 3.15 - Графік залежності IOPS від часу обслуговування для SSD накопичувачів з використанням програмного алгоритму компресії.

3.4.3 модель 5100 з використанням апаратної дедублікації

В таблиці 3.14 – зображено вихідні параметри ємності з урахуванням використання апаратної дедублікації, коефіцієнт стискання 1,2 : 1.

Таблиця 3.14 - параметри ємності з урахуванням використання алгоритму дедублікації, коефіцієнт стискання 1,2 : 1

| Summary Report | | |
|--|---------------|--------------------------|
| Number of I/O groups: | 1 | |
| Number of pools: | 1 | |
| Number of arrays: | 1 | |
| Number of drives: | 12 | |
| Number of external virtualized MDisks: | 0 | |
| Number of enclosures: | 1 | (0 expansion enclosures) |
| FS 5200 Control: | 1 | |
| Raw capacity: | 49,922.84 GB | 49.92 TB |
| | 46,494.27 GiB | 45.40 TiB |

| | | |
|---------------------|---------------|-----------|
| Effective capacity: | 42,139.00 GB | 42.14 TB |
| | 39,245.00 GiB | 38.33 TiB |

У таблиці 3.15 дані які наводять степінь утилізації СЗД 5100 з увімкненим функціоналом апаратної дедублікації даних. У таблиці 3.16 наведені дані по кількості необхідного часу для виконання однієї операції вводу/виводу.

Таблиця 3.15 – Продуктивність системи зберігання даних з ввімкненою апаратною дедуплікацією даних

| FlashSystem 5000 #1 FS5200 / 8.4.0 | | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------|---------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Peak IO/s | | | Total I/O Rate (I/Os per second) | | | | | |
| Utilizations | Amber Threshold | Red Threshold | 52221 | 53906 | 79174 | 80858 | 82543 | 84227 |
| System Core | 60% | 80% | 61,9% | 63,9% | 93,9% | 95,9% | 97,9% | 99,9% |
| NVMe Drive Interface | 60% | 80% | 2,1% | 2,1% | 3,1% | 3,2% | 3,3% | 3,3% |
| Highest SCM Drive | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest NVMe Flash | 60% | 80% | 13,9% | 14,4% | 21,1% | 21,6% | 22,0% | 22,4% |
| SAS Drive Interface | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest Tier 0 SSD | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest Tier 1 SSD | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest Enterprise HDD | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest Nearline HDD | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest FC Adapter | 60% | 80% | 7,7% | 8,0% | 11,7% | 12,0% | 12,2% | 12,5% |
| Highest FC Port | 60% | 80% | 8,0% | 8,2% | 12,1% | 12,3% | 12,6% | 12,9% |
| Highest Ethernet Adapter | 60% | 80% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest Ethernet Port | | | 0,00 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Highest SAS Adapter | | | 0,00 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |

Таблиця 3.16 - час виконання однієї операції вводу/виводу при різних кількостях IOPS

| FlashSystem 5200 #3 FS5200 / 8.4.0 | | | | |
|------------------------------------|----------------------|------------------|-----------------|------------------|
| 5200_dedup | | Service Time | | |
| I/O Rate (ops/s) | Data Rate (MiB/s) | Total (ms/op) | Read (ms/op) | Write (ms/op) |
| 1685 | 13,2 | 0,89 | 1,14 | 0,29 |
| 3369 | 26,3 | 1,04 | 1,35 | 0,33 |
| 5054 | 39,5 | 1,18 | 1,53 | 0,36 |
| 6738 | 52,6 | 1,29 | 1,68 | 0,39 |
| 8423 | 65,8 | 1,39 | 1,81 | 0,41 |
| 10107 | 79,0 | 1,49 | 1,94 | 0,44 |
| 11792 | 92,1 | 1,57 | 2,05 | 0,46 |
| 13476 | 105,3 | 1,66 | 2,16 | 0,48 |
| 15161 | 118,4 | 1,73 | 2,26 | 0,50 |
| 16845 | 131,6 | 1,81 | 2,36 | 0,52 |
| 18530 | 144,8 | 1,88 | 2,46 | 0,54 |
| 20215 | 157,9 | 1,95 | 2,56 | 0,55 |
| 21899 | 171,1 | 2,03 | 2,65 | 0,57 |
| 23584 | 184,2 | 2,10 | 2,75 | 0,59 |
| 25268 | 197,4 | 2,17 | 2,84 | 0,61 |
| 26953 | 210,6 | 2,25 | 2,94 | 0,63 |
| 28637 | 223,7 | 2,32 | 3,04 | 0,64 |
| 30322 | 236,9 | 2,40 | 3,15 | 0,66 |
| 32006 | 250,0 | 2,49 | 3,26 | 0,68 |
| 33691 | 263,2 | 2,57 | 3,37 | 0,70 |
| 35375 | 276,4 | 2,66 | 3,49 | 0,73 |
| 37060 | 289,5 | 2,75 | 3,61 | 0,75 |
| 38745 | 302,7 | 2,85 | 3,74 | 0,77 |
| 40429 | 315,9 | 2,96 | 3,88 | 0,80 |

На рисунку 3.16 – зображено графік залежності кількості IOPS від часу обслуговування для SSD накопичувачів

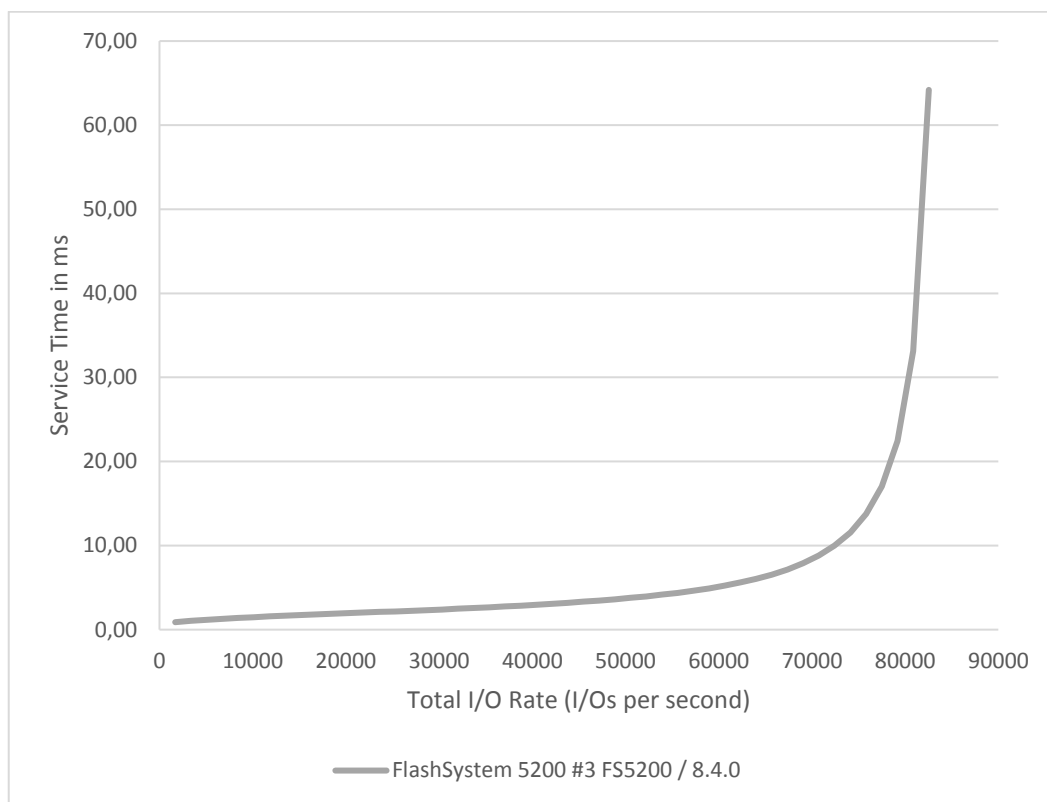


Рисунок 3.16 - Графік залежності IOPS від часу обслуговування для SSD накопичувачів з використанням апаратного алгоритму дедублікації.

4 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЗБЕРІГАННЯ ДАНИХ

Перед початком тестування необхідно виконати наступний перелік задач:

- 1) вибір необхідного обладнання;
- 2) розробка схеми підключення СЗД до хосту;
- 3) вибір програмного забезпечення та написання скриптів навантаження;
- 4) налаштування менеджмент інтерфейсів на СЗД та сервері;
- 5) налаштування зонінгу для портів вводу/виводу;
- 6) створення пулів зберігання та їх підключення до хосту.

4.1 Вибір обладнання для тестування

Пристроєм, який буде створювати запити вводу/виводу, слугує сервер компанії Lenovo x3650 m5 [13]. Його технічні характеристики наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики серверу x3650 m5

| Компоненти | Специфікація |
|-------------------------|--|
| Форм-фактор | 2U Rack. |
| Процесор | Два процесори Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2640 v4 @ 2.40GHz |
| Кеш пам'ять | 128 ГБ |
| Кількість сирого об'єму | 4 ТБ |
| Мережеві інтерфейси | Чотири інтегровані порти Gigabit Ethernet 1000BASE-T (RJ-45); два вбудовані порти Ethernet 10 Гбіт (SFP +) |

| Компоненти | Специфікація |
|-----------------------------|---|
| Зовнішні порти вводу/виводу | Чотири порти fibre channel 16 gbps |
| Блоки живлення | Два блоки живлення 550 W |
| Операційна система | Microsoft Windows Server 2012 R2; VMware vSphere (ESXi) 6.0. |

Обладнанням для з'єднання слугує комутатор Brocade 6505. У таблиці 4.2 наведено технічні характеристики даного комутатора.

Таблиця 4.2 – Технічні характеристики Brocade 6505

| Компоненти | Специфікація |
|---------------------------|-----------------------|
| Форм-фактор | 1U Rack. |
| Кількість портів | 24 шт. |
| Швидкість передачі даних | 16 gbps fibre channel |
| Кількість блоків живлення | 2 шт. |

Предметом дослідження в даному експерименті виступають дві системи зберігання: Storwize 5030 та Storwize 5100, які по чергово будуть підключатися до серверу. Конфігурації яких, наведено у таблиці 4.3 та таблиці 4.4 відповідно.

Таблиця 4.3 – Конфігурація системи збереження даних Storwize 5030

| Компоненти | Специфікація |
|-------------------------------|--|
| Форм-фактор | 2U Rack. |
| Процесор | Два процесори Intel Broadwell 1.6GHz |
| Кеш пам'ять | 64 ГБ |
| Кількість встановлених дисків | 12 SSD накопичувачів об'ємом 3.84 ТБ |
| Мережеві інтерфейси | Два вбудованих менеджмент інтерфейси 10gbps iSCSi (RJ45) |
| Зовнішні порти вводу/виводу | Вісім зовнішніх портів Fibre Chanel 16gbps (SFP+) |
| Блоки живлення | Два блоки живлення 650 W |
| Операційна система | Spectrum Virtualize 8.4.0 |

Таблиця 4.4 – Конфігурація системи збереження даних Storwize 5100

| Компоненти | Специфікація |
|-------------------------------|--|
| Форм-фактор | 2U Rack. |
| Процесор | Два процесори Intel Skylake 1.8GHz |
| Кеш пам'ять | 192 ГБ |
| Кількість встановлених дисків | 24 NVMe SSD накопичувачів об'ємом 3.84 ТБ |
| Мережеві інтерфейси | Два вбудованих менеджмент інтерфейси 10gbps iSCSi (RJ45) |
| Зовнішні порти вводу/виводу | Вісім зовнішніх портів Fibre Chanel 16gbps (SFP+) |

| Компоненти | Специфікація |
|--------------------|---------------------------|
| Блоки живлення | Два блоки живлення 650 W |
| Операційна система | Spectrum Virtualize 8.4.0 |

4.2 Розробка схеми підключення СЗД до хосту

Для організації SAN мережі необхідно чітко визначити порти вводу/виводу, які буде використовувати комутатор, оскільки в подальшому необхідно буде використовувати унікальний ідентифікатор порту для побудови зон маскування.

На рисунку 4.1 зображено схему підключення в SAN середовищі.

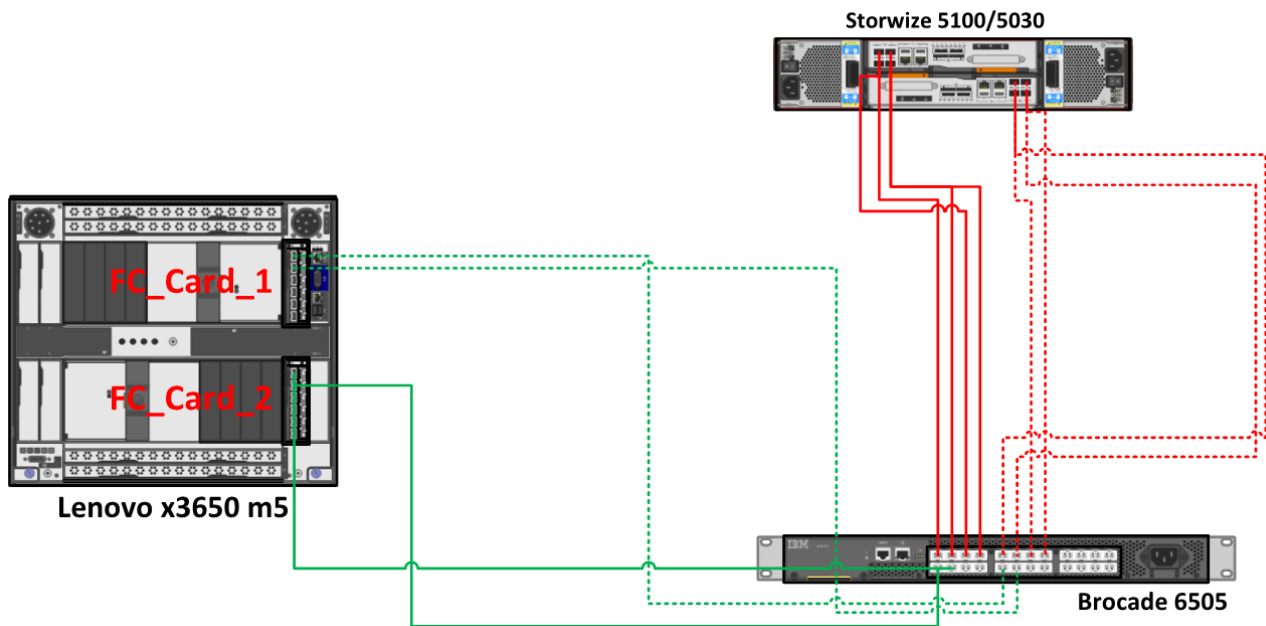


Рисунок 4.1 – Схема підключення

Згідно зі схемою, порти № 1, 3, 5, 7 підключаються до першого контролера системи збереження даних. Порти № 9, 11, 13, 15 відповідно від'єднуються до другого контролера. Перший адаптер серверу під'єднаний до портів № 2, 4. Другий до десятого та дванадцятого порту відповідно.

4.3 Вибір ПЗ для тестування та скрипти навантаження

В якості програмного забезпечення яке буде створювати навантаження вводу/виводу на систему збереження даних було обрано Oracle Vdbench.

Vdbench - це дисковий генератор робочого навантаження вводу-виводу, який використовується для тестування та порівняльного аналізу існуючих та майбутніх продуктів зберігання. Vdbench написаний на Java та підтримує роботу з наступними операційними системами: Solaris Sparc та x86, всі версії Windows, HP / UX, AIX, Linux, Mac OS X, zLinux та RaspBerry Pi [14].

Структура скрипта складається з трьох основних параметрів, від налаштування яких залежить робота тесту:

- storage definition (SD).
- workload definition (WD)
- run definition (RD)

4.3.1 storage definition (SD).

Цей параметр ідентифікує кожен фізичний або логічний том диспетчера томів або окремо виділений файл, що використовується у запитуваному навантаженні. Звичайно, при роботі з файлами, саме файлова система бере на себе відповідальність за всі операції вводу-виводу, а Vdbench не матиме контролю над фізичним введенням-виведенням. Параметр SD містить наступні пункти для налаштування:

- «sd = name». Цей параметр встановлює унікальну назву для любого типу сховища. Назва сховища в подальшому використовується параметрами WD та RD для того, щоб визначити, які носії використовувати для свого робочого навантаження.
- Параметр «lun = name» описує ім'я нерозміченого диска або ім'я файлу. Наприклад для операційної системи Windows назва нерозміченого тому

виглядає наступним чином: `lun=\\.\PhysicalDrive1`, а для вибору файлу необхідно прописати шлях до нього.

- Команда «`size=`» описує розмір нерозміченого диска або файлу. Необхідно ввести це значення в байтах, кілобайтах, мегабайтах, гігабайтах або терабайтах. Якщо розмір не вказано, дані буде взято з необробленого диска або з файлу. `Vdbench` підтримує ємність не менше ніж 2 Гб.
- «`range=(min,max)`». Даний параметр дозволяє обмежити активність команд вводу виводу у вказаному користувачем діапазоні.
- Параметр «`thread =`» визначає максимальну кількість одночасних ввідів-виводів, яка може бути невирішеною для конкретного тому.
- «`openflags=`». Даний параметр дозволяє контролювати процес запису даних, наприклад: операція запису завершується, як тільки дані зберігаються в системному кеші.

4.3.2 workload definition

Параметри WD описують, яке робоче навантаження повинно виконуватися на введених логічних томах або файлах. Основними параметрами для налаштування `workload definition` являються:

- «`rdpct =`» визначає відсоток виконуваних операцій зчитування. «`rdpct = 0`» означає, що виконується 100% операцій запису. За замовчуванням даний параметр має значення 100% для операцій зчитування.
- Параметр «`xfersize =`» вказує на розмір блоку, який передається від системи зберігання даних до серверу. Якщо даний параметр не був прописаний у скрипті, розмір блоку дорівнюватиме чотирьом кілобітам.
- «`skew =`» визначає відсоток від загальної швидкості вводу/виводу, який буде виділено для цього робочого навантаження. За замовчуванням

загальний коефіцієнт вводу/виводу буде рівномірно розподілений між усіма робочими навантаженнями.

- «seekpct=» визначає, частоту генерування пошуку випадкового логічного блоку даних.
- «iorate=». За допомогою специфічного для робочого навантаження параметру «iorate» можна вказати фіксовані IOPS для конкретного робочого навантаження, тоді як інші WD продовжують контролюватися іншими параметрами «iorate», які вказуються у частині RD.

4.3.3 run definition (RD)

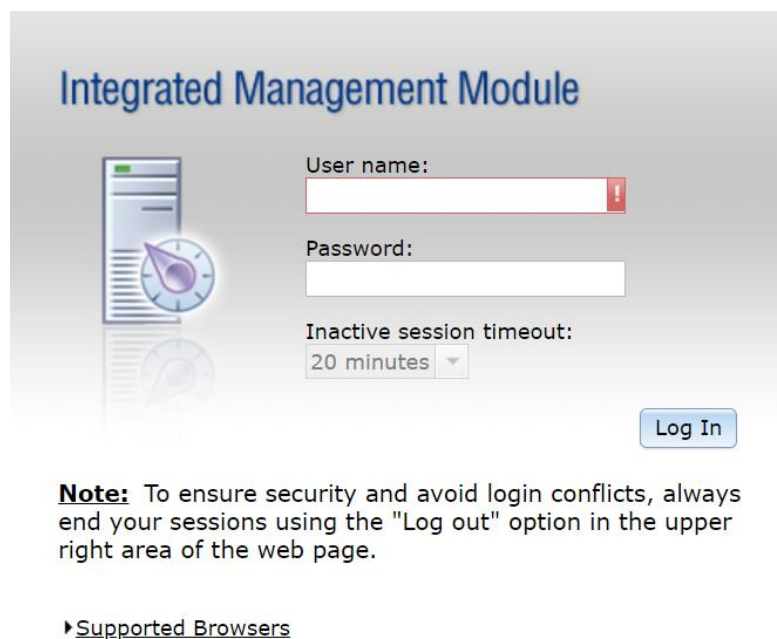
Параметри RD визначають, яке з раніше визначених робочих навантажень (WD) необхідно виконати, які IOPS потрібно створити на пристрої збереження (SD) та як довго будуть виконуватися робочі навантаження в рамках тестування. Для RD виділяють наступні параметри для налаштування:

- Параметр «elapsed=» визначає час, що минув у секундах для кожного циклу WD. Кожне запитуване робоче навантаження виконується протягом вказаної кількості секунд, тоді як детальна статистика інтервалів продуктивності подається через визначений користувачем час, який необхідно вказати в параметрі «interval». В кінці кожного циклу виводиться середнє значення IOPS, час виконання однієї операції зчитування/запису, а також швидкість передачі даних.
- «Warmup=». За замовчуванням Vdbench виключає перший інтервал із загальної циклу роботи програми. Параметр «warmup=» відповідає за розігрів СЗД. Це пов'язано з тим, що система результати перших циклів виконання програми будуть не відповідати дійсності, оскільки система збереження повина спершу рівномірно розподілити навантаження відносно всіх WD.

Весь лістинг програми наведено у Додатку А.

4.4 Налаштування менеджмент інтерфейсів

Для налаштування менеджмент інтерфейсу сервера необхідно спершу налаштувати мережеві параметри порту IMM. Модуль інтегрованого управління (IMM) поєднує функції сервісного процесора, відеоконтролера та функції віддаленої присутності в одному чіпі. На рисунку 4.2 зображено меню авторизації IMM.



Integrated Management Module

User name:

Password:

Inactive session timeout: 20 minutes

[Log In](#)

Note: To ensure security and avoid login conflicts, always end your sessions using the "Log out" option in the upper right area of the web page.

[Supported Browsers](#)

Рисунок 4.2 – Меню авторизації IMM

Після авторизації користувач отримує доступ до WEB-інтерфейсу керування сервером. Завдяки меню «remote control» користувач може спостерігати за процесами які відбуваються на сервері в режимі реального часу. Меню «remote control» зображено на рисунку 4.3.

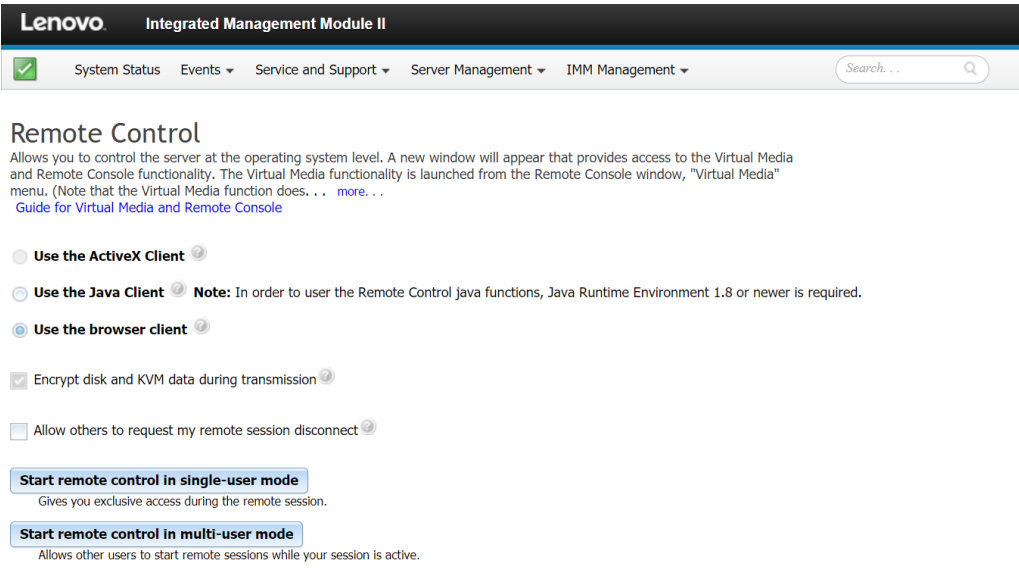


Рисунок 4.3 – Меню «Remote Control»

Вище вказаний сервер використовує гіпервізор VMware ESXi версії 7.0, який дозволяє розподіляти ресурси сервера на логічному рівні не прив’язуючись до апаратних характеристик конкретно виділеного елементу сервера. Функціонал гіпервізора можна використовувати лише з його Web-інтерфейсу, доступ до якого налаштовується з графічного інтерфейсу сервера в меню «Configure Management Network». На рисунку 4.4 зображено меню налаштування доступу до Web-інтерфейсу ESXi.

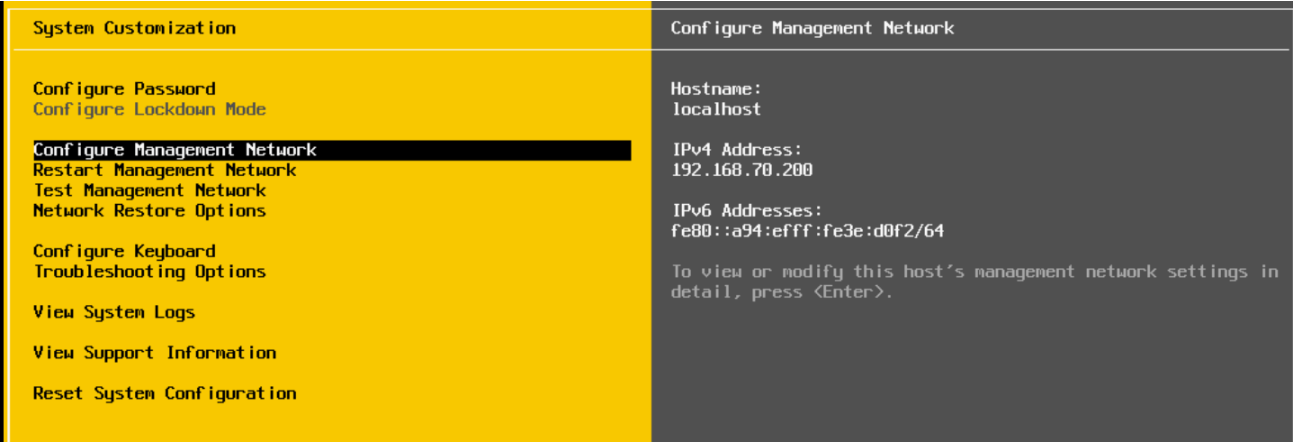


Рисунок 4.4 – Меню Configure Management Network

Після налаштування менеджмент інтерфейсу гіпервізора переходимо до його Web-інтерфейсу та перевіряємо роботу встановленої поверх нього операційної системи. На рисунку 4.5 зображено Web-інтерфейс ESXi версії 7.0.

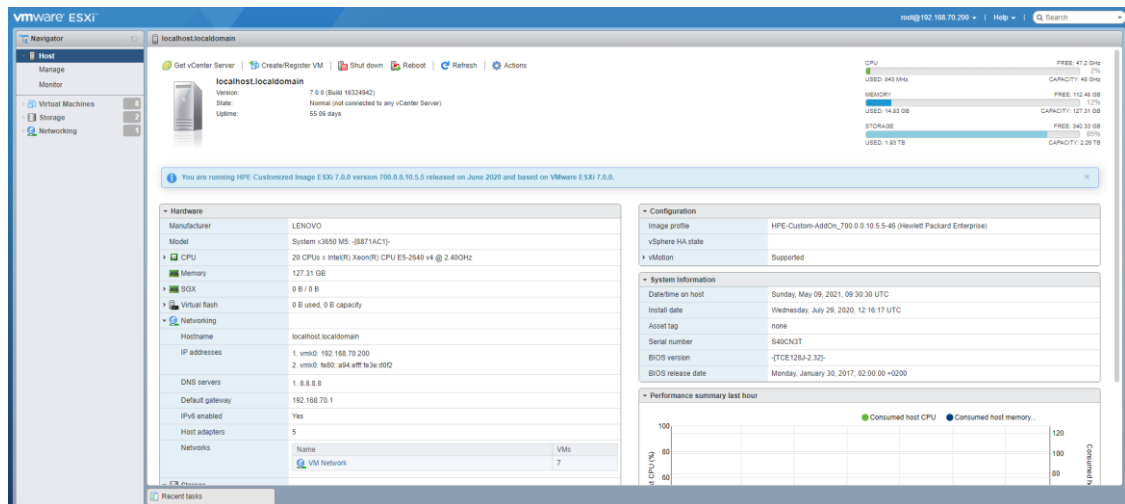


Рисунок 4.5 – Web-інтерфейс ESXi версії 7.0

Список встановлених операційних систем можна спостерігати в меню «Virtual Machines» яке зображено на рисунку 4.6.

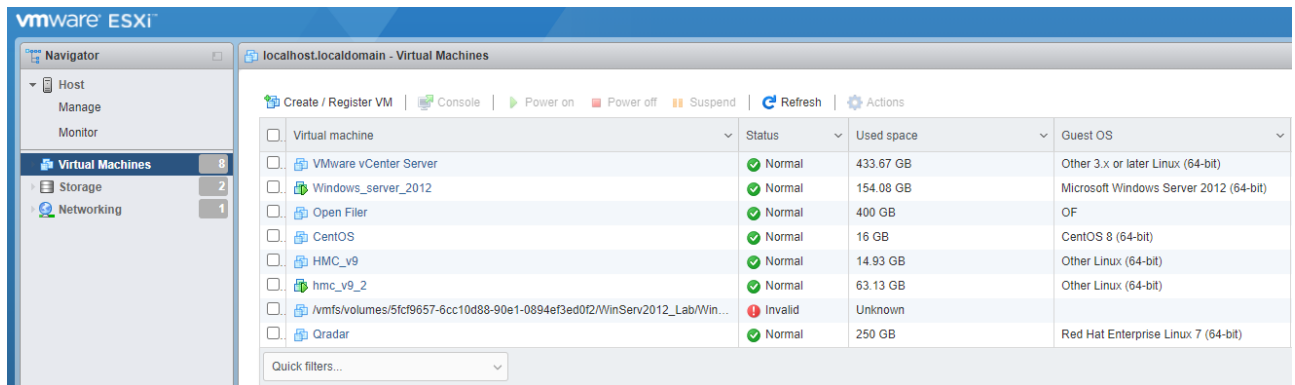


Рисунок 4.6 - Меню Virtual Machines

В якості операційної системи, яка буде створювати навантаження вводу/виводу було використано Windows server 2012. Для того щоб працювати з даною ОС необхідно обрати її з списку всіх встановлених операційних систем та увімкнути використовуючи кнопку «Power on». На рисунку 4.7 зображено роботу операційної системи.

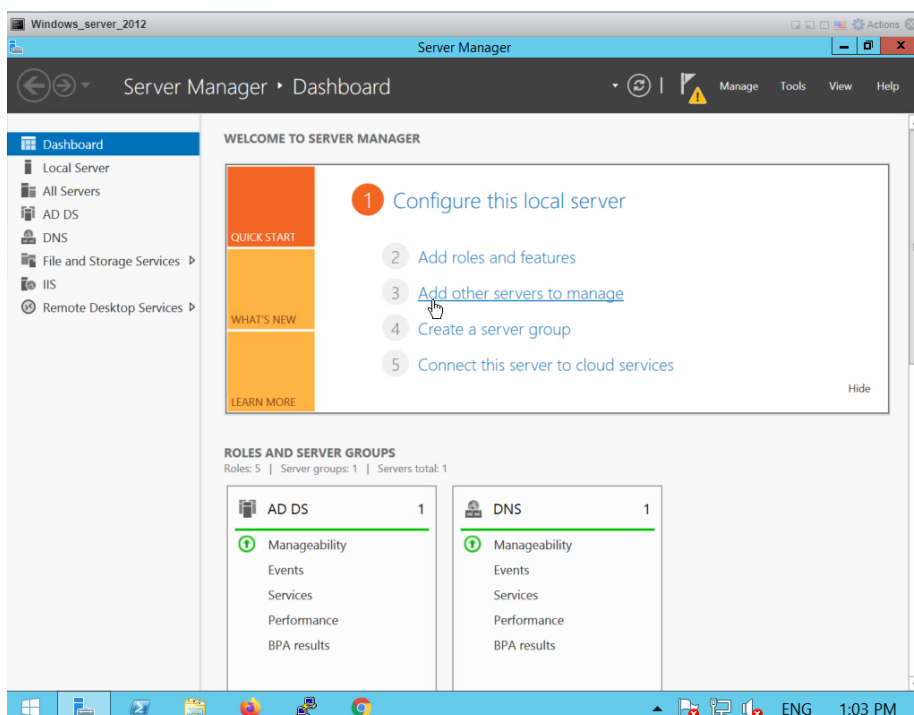


Рисунок 4.7 - Windows Server 2012

Налаштування системи збереження даних відбувається під час першого запуску СЗД. Цей процес називається ініціалізацією системи, для його початку необхідно виконати наступні кроки:

- 1) Підключіть свій ПК або ноутбук до технічного порту системи збереження, він позначений літерою T. Переконайтеся, що адреса IPv4 отримана за допомогою DHCP.
- 2) Відкрити веб-браузер і перейти за посиланням <http://install>. Браузер автоматично перенаправить користувача до меню ініціалізації системи. також можна використати IP-адресу <http://192.168.0.1>. Стартове вікно ініціалізації зображено на рисунку 4.8.

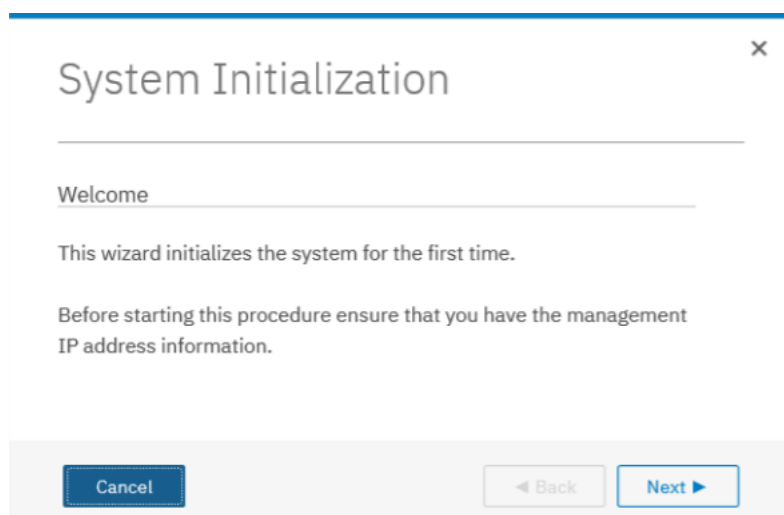


Рисунок 4.8 - Стартове вікно ініціалізації

- 3) Ввести інформацію про IP-адресу управління для нової системи (див. Рисунок 4.9). Необхідно ввести IP-адресу, маску мережі та її шлюз.

Рисунок 4.9 - Налаштування менеджмент інтерфейсу

Далі відобразиться вікно з таймером перезапуску, після закінчення якого буде показано вікно остаточної ініціалізації з подальшими інструкціями (див. Рисунок 4.10).

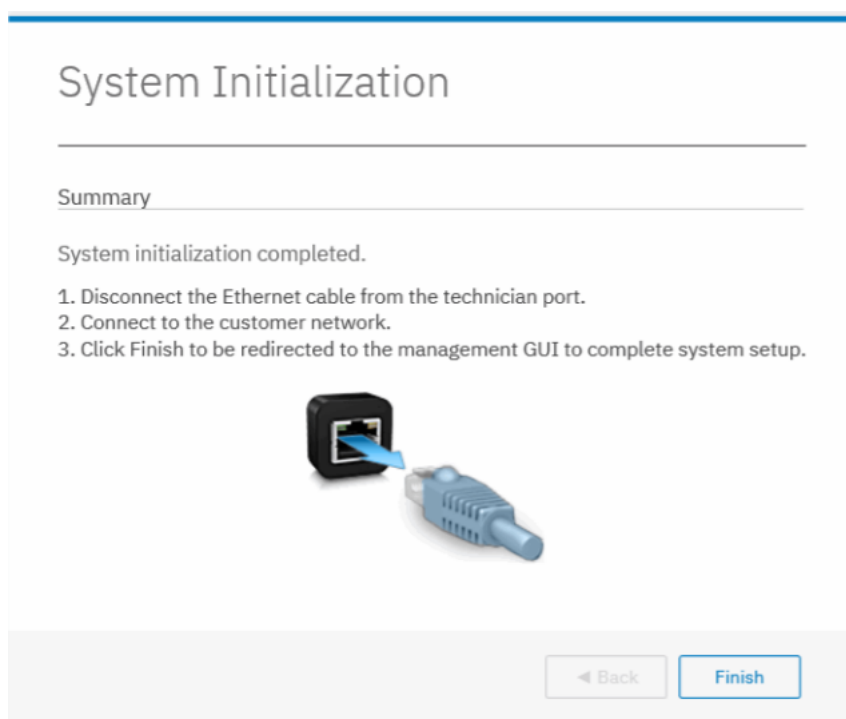


Рисунок 4.10 - Завершення ініціалізації системи

Після ініціалізації системи необхідно підключитися до менеджмент інтерфейсу, який надає повний контроль над системою зберігання даних. Менеджмент інтерфейс наведений на рисунку 4.11.

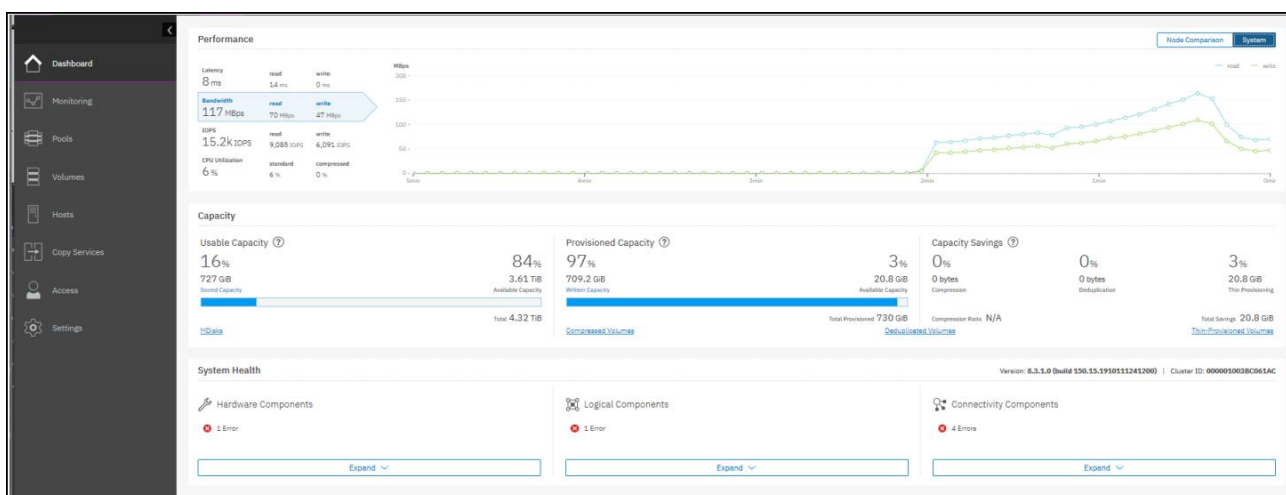


Рисунок 4.11 - менеджмент інтерфейс СЗД FlashSystem

4.5 Налаштування зонінгу

Зонування – це функціонал комутатора, який дозволяє розділити мережу SAN на логічні групи пристроїв, які можуть отримати доступ один до одного. Зони забезпечують контрольований доступ до сегментів мережі і встановлюють бар'єри між робочими середовищами. Пристрій у зоні може спілкуватися лише з іншими пристроями, які знаходяться в тій самій зоні. Коли зонування ввімкнене, пристрої, які не включені в жодну з конфігурацій зон, недоступні для всіх інших пристроїв у мережі.

Для того, щоб почати створювати зони необхідно спершу створити з'єднання між ПК та комутатором. Для цього необхідно підключитись до консольного порту комутатора та створити термінальну сесію завдяки програмному забезпеченню PuTTY. У таблиці 4.5 наведено налаштування для коректної роботи терміналу.

Таблиця 4.5 – параметри налаштування PuTTY

| Параметри | Значення |
|-------------------------|----------|
| Швидкість передачі | 9600 |
| Біти даних | 8 |
| Парність | Вимкнено |
| Кількість стоп-бітів | 1 |
| Керування потоком даних | Вимкнено |

На рисунку 4.12 зображено вікно налаштувань для консольного підключення.

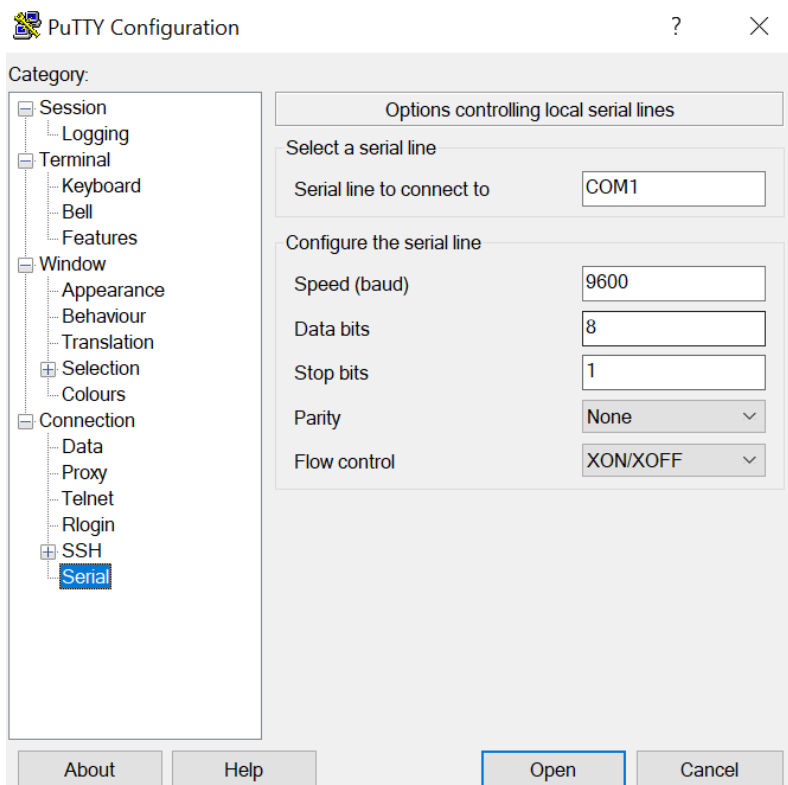


Рисунок 4.12 - Вікно налаштувань терміналу

В рамках даного експерименту було створено одну зону яка забезпечує зв'язок між хостом та СЗД. Порти які були додані до зони наведені у розділі 4.2. Лістинг створення зони наведено у додатку Б.

4.6 Створення томів зберігання та їх підключення до хосту.

Для того, щоб створити том зберігання даних необхідно спершу створити пул до складу якого він буде належати. Процес створення пулу зображений на рисунку 4.13.

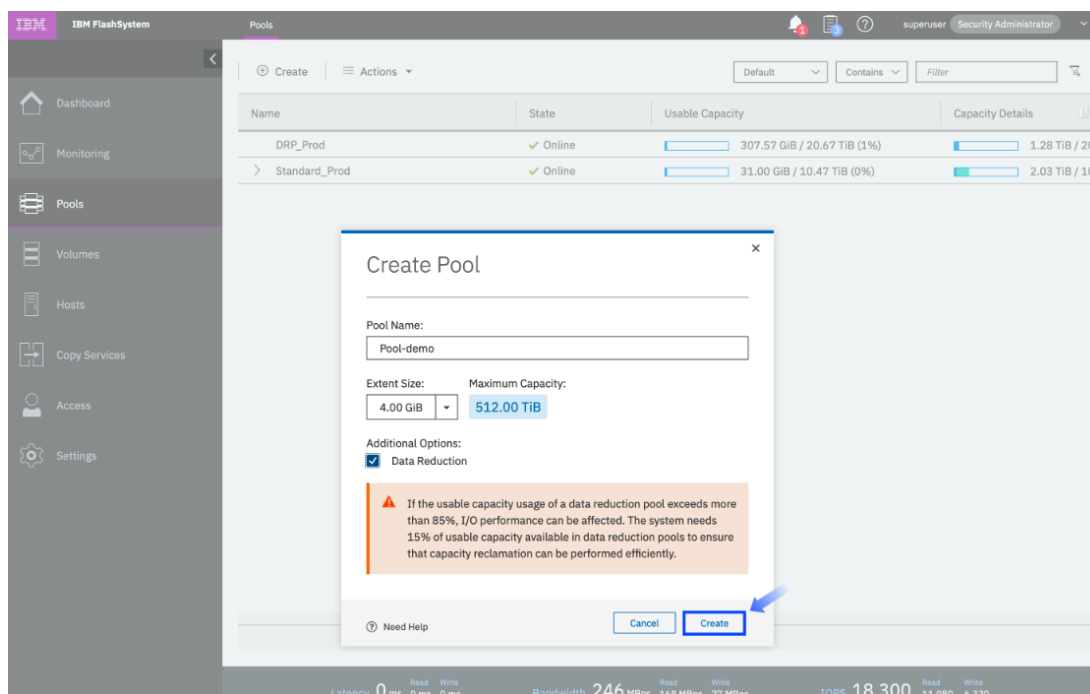


Рисунок 4.13 - Процес створення пулу

Після цього необхідно приєднати накопичувачі до вже створеного пулу. Даний процес зображений на рисунку 4.14. Варто відзначити, що до одного пулу даних можна додавати різні типи накопичувачів. IBM FlashSystem 5100 в контролерній полиці підтримує наступні накопичувачі:

- NVMe Solid State Drive;
- IBM FlashCore module.

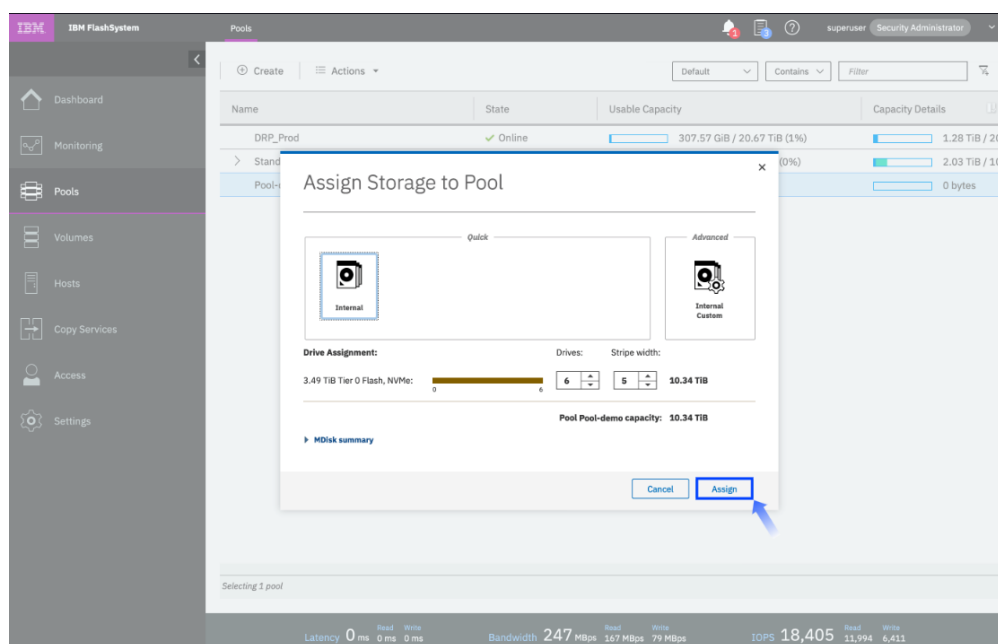


Рисунок 4.14 - Приєднання дисків до пулу збереження

Після створення пулу, його доступну ємність можна розділити серед томів зберігання даних. Користувач має можливість створити три типи томів: базовий, дзеркальний та користувацький тип тому. При створенні базового тому, система автоматично почне процес його форматування, він може займати досить тривалий період часу. Під час форматування користувач не матиме змоги динамічно збільшувати його обсяг. У випадку коли необхідно відключити вищевказаний функціонал, необхідно створювати користувацький тип тому, під час створення якого, необхідно зняти галочку з відповідного чек-боксу. Дзеркальний LUN дозволяє створити одразу два томи, які можуть знаходитись у різних пулах зберігання. Дані, які будуть записуватись на головний том будуть автоматично копіюватись на другорядний LUN. Також варто відзначити, що процес копіювання відбувається у фоновому режимі, тому його вплив на продуктивність системи збереження даних мінімальний.

На рисунку 4.15 зображено меню створення дискових томів.

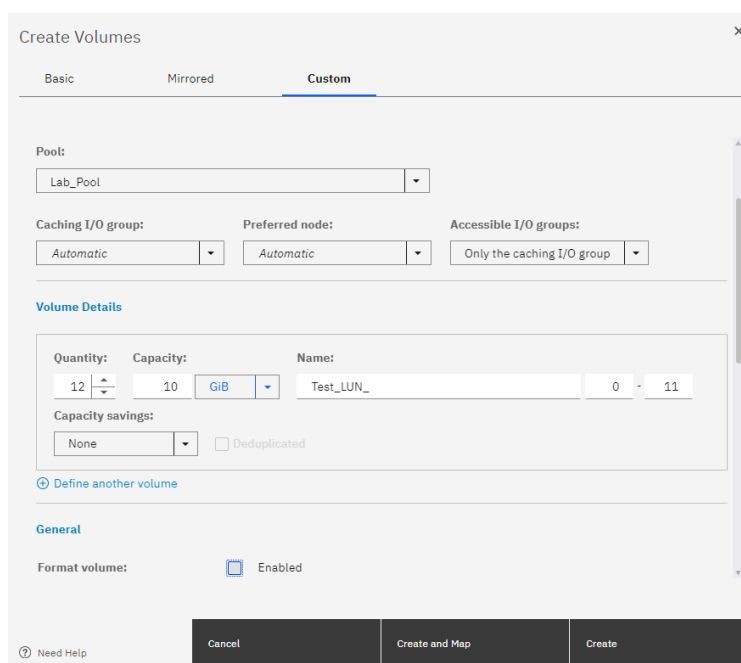


Рисунок 4.15 - Меню створення дискових томів

Під час того, як користувач натискає кнопку «Create» система виводить на передній план вікно в якому відображаються консольні команди створення тому (див. рисунок 4.16). Варто також відзначити, що користувач може самотужки вводити дані команди в командному рядку СЗД. Для цього йому необхідно підключитися до неї по SSH протоколу

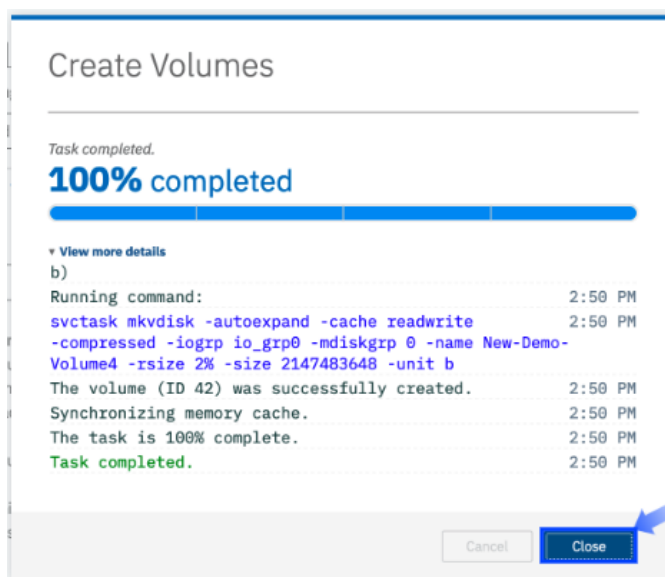


Рисунок 4.16 – Результат створення томів

Наступним кроком є ідентифікація хостів та підключення томів зберігання до них. Меню «host» завдяки якому можна презентувати сервери для системи збереження даних зображено на рисунку 4.17.

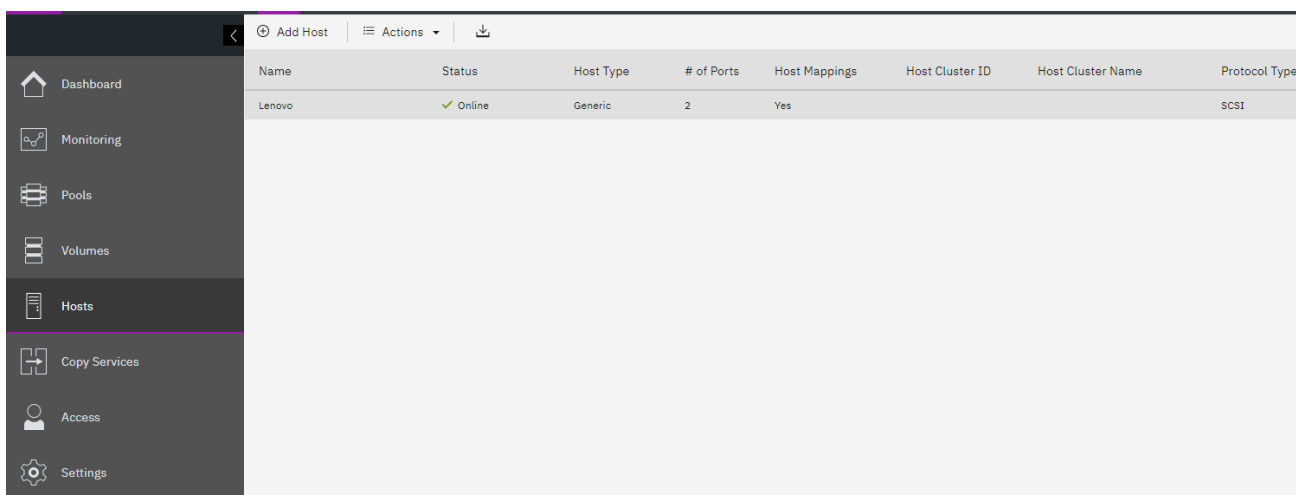


Рисунок 4.17 – Меню «Host»

Після натискання на кнопку «Add Host» система презентує випадаюче вікно в якому користувач має заповнити наступні пункти: name, host connection, host WWN. Параметр name надає серверу унікальне ім'я, за яким користувач може знаходити необхідний йому сервер. Host connection відповідає за те, який протокол передачі даних буде використовуватися для обміну даними з хостом. Для параметру Host WWN необхідно вказати доступні адреси портів вводу/виводу. Варто зауважити, що СЗД у більшості випадків сама визначає всі доступні WWN адреси хостів. Для серверу Lenovo 3650 m5 було ідентифіковано наступні WWN:

- 21:00:00:24:FF:11:9F:3E;
- 21:00:00:24:FF:11:9E:BB;
- 21:00:00:24:FF:11:9C:2A;
- 21:00:00:24:FF:11:9G:4F.

На рисунку 4.18 зображено меню налаштування параметрів сервера.

Рисунок 4.18 – Меню налаштування параметрів сервера

Після того, як зв'язок з сервером було налаштовано, необхідно розпочати процес підключення томів зберігання даних (LUN). Для цього необхідно виділити всі необхідні LUN натиснути правою клавішою тим самим буде викликано підменю (див рисунок 4.19) в якому необхідно обрати пункт «Map to host or host cluster».

| Name | State | Synchronized | Pool | Protocol Type | UID | Host Mappings | Capacity |
|---------------------|--------|--------------|----------|---------------|---------------------------------|---------------|------------|
| Migration_Isar | Online | | Lab_Pool | | 6050764008800118000000000000... | No | 60.00 GiB |
| Migration_Isar_xcsi | Online | | Lab_Pool | | 6050764008800118000000000000... | No | 100.00 GiB |
| Test_LUN_0 | Online | | Lab_Pool | | 6050764008800118000000000000... | No | 10.00 GiB |
| Test_LUN_1 | Online | | Lab_Pool | | 6050764008800118000000000000... | No | 10.00 GiB |
| Test_LUN_2 | Online | | Lab_Pool | | 6050764008800118000000000000... | No | 10.00 GiB |
| Test_LUN_3 | Online | | Lab_Pool | | 6050764008800118000000000000... | No | 10.00 GiB |
| Test_LUN_4 | Online | | Lab_Pool | | 6050764008800118000000000000... | No | 10.00 GiB |
| Test_LUN_5 | Online | | Pool | | 6050764008800118000000000000... | No | 10.00 GiB |
| Test_LUN_6 | Online | | Pool | | 6050764008800118000000000000... | No | 10.00 GiB |
| Test_LUN_7 | Online | | Pool | | 6050764008800118000000000000... | No | 10.00 GiB |
| Test_LUN_8 | Online | | Pool | | 6050764008800118000000000000... | No | 10.00 GiB |
| Test_LUN_9 | Online | | Pool | | 6050764008800118000000000000... | No | 10.00 GiB |
| Test_LUN_10 | Online | | Pool | | 6050764008800118000000000000... | No | 10.00 GiB |
| Test_LUN_11 | Online | | Pool | | 6050764008800118000000000000... | No | 10.00 GiB |
| VDP | Online | | pool | | 6050764008800118000000000000... | No | 3.78 TiB |
| VIOS_A_VM_Library | Online | | Pool | | 6050764008800118000000000000... | No | 100.00 GiB |
| WinServ2012_Lab | Online | | Pool | SCSI | 6050764008800118000000000000... | Yes | 260.00 GiB |
| WinServ2012_Lab_01 | Online | | Pool | | 6050764008800118000000000000... | No | 260.00 GiB |
| test_vdisk_b | Online | | Pool | | 6050764008800118000000000000... | No | 100.00 GiB |

Рисунок 4.19 – Початок приєднання томів зберігання

Далі необхідно обрати у списку раніше створений хост з ім'ям «Lenovo» та вибрати яким чином будуть створюватися ID номера для томів зберігання (див. рисунок 4.20). Перший варіант – це коли система в автоматичному порядку роздає ID номера томам зберігання. Другий варіант передбачає, що користувач сам буде вказувати ID для кожного LUN окремо.

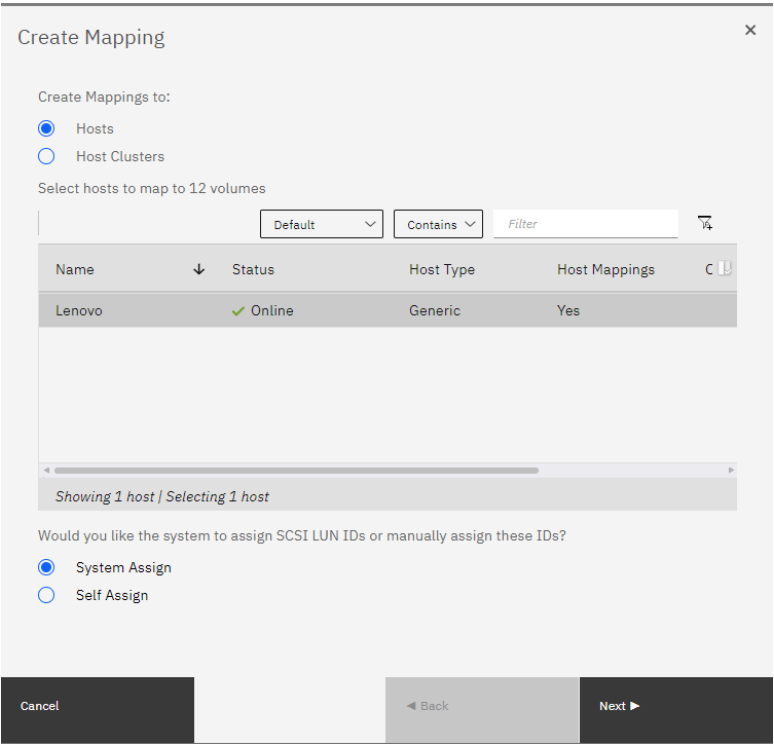


Рисунок 4.20 – Меню «Create Mapping»

Результат виконання програми можна спостерігати у меню «Volumes by host», яке зображено на рисунку 4.21.

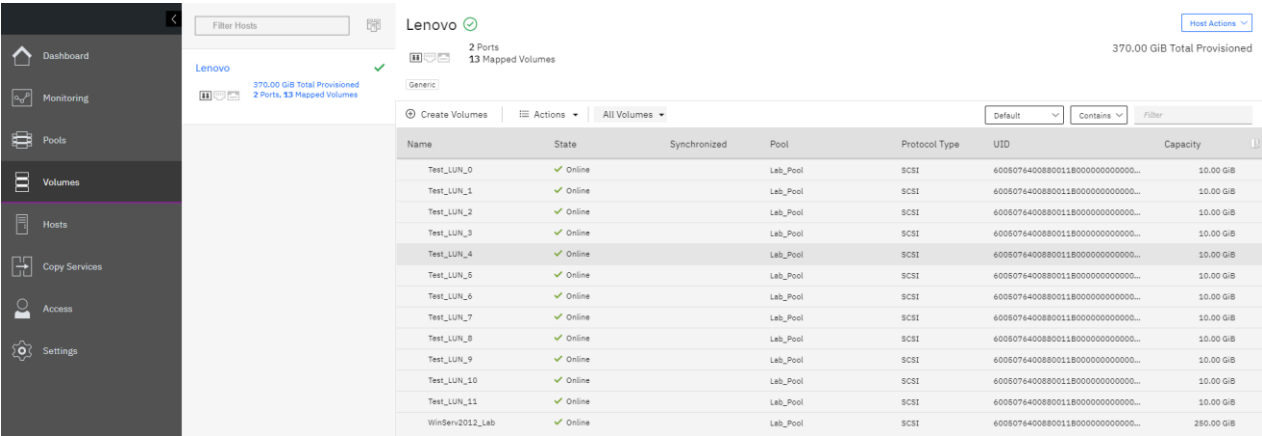


Рисунок 4.21 – Меню «Volumes by host»

Після того як користувач переконався, що зі сторони системи збереження даних всі створенні томи презентовані до серверу. Необхідно повернутися до Web-інтерфейсу гіпервізора, щоб під'єднати вже підключенні до гіпервізора LUN до вже встановленої Windows Server 2012. Для цього необхідно перейти до меню налаштування операційної системи та натиснути на кнопку «Add new raw disk» (див. рисунок 4.22) та додати дванадцять створених томів.

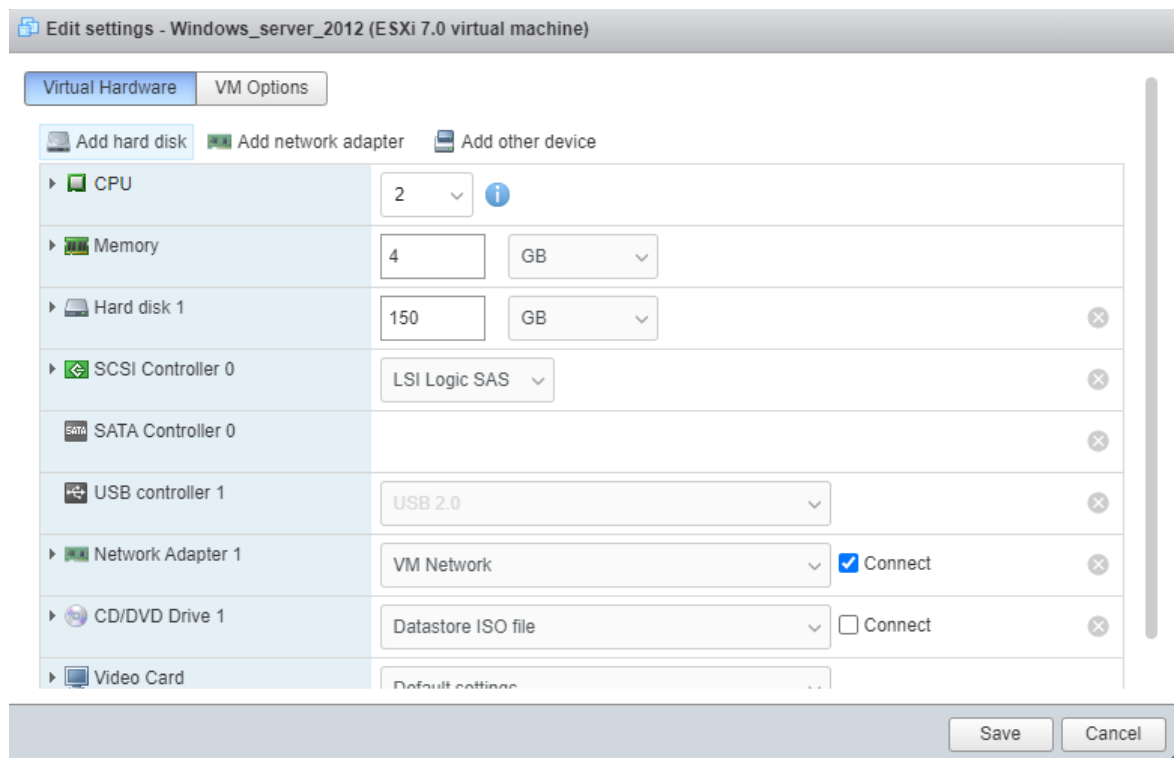


Рисунок 4.22 – Налаштування фізичних параметрів операційної системи

Після додавання томів до операційної системи, їх необхідно перевести у статус онлайн для того, щоб програмне забезпечення VDbench отримало доступ них. Для цього необхідно у вікні «run» написати наступну команду: «Diskmgmt.msc», після чого користувач отримає доступ до всіх пристроїв зберігання даних якими здатна керувати операційна система. На рисунку 4.23 зображено меню «Disk Management» та процес зміни статусу накопичувачів.

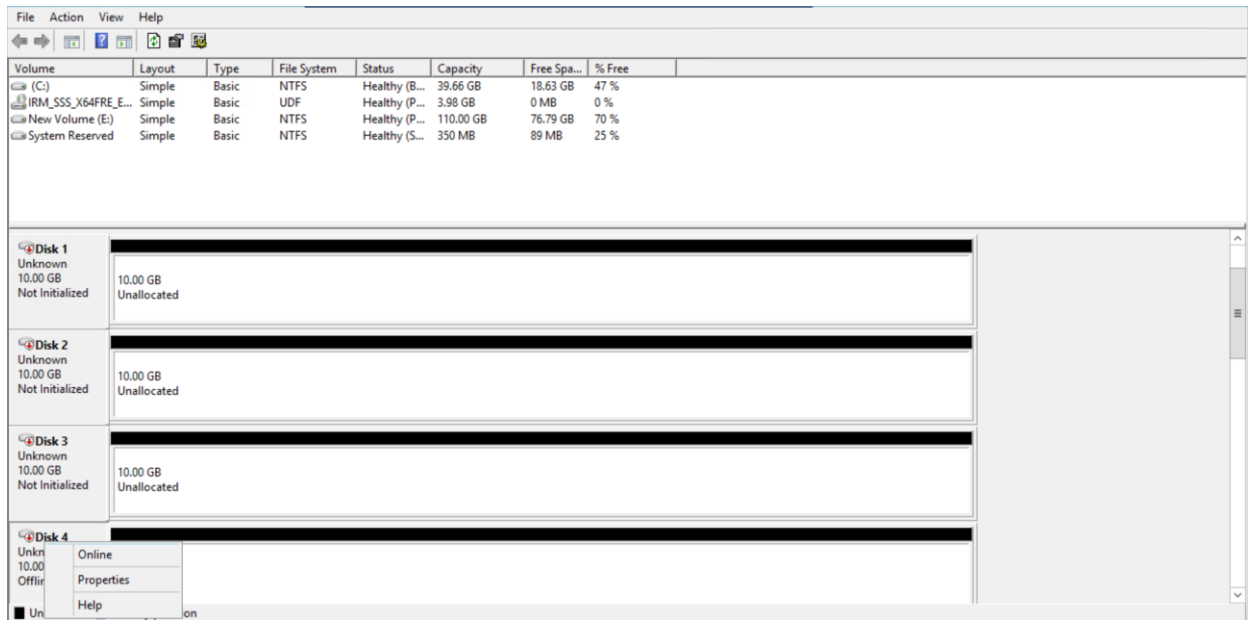


Рисунок 4.23 – процес зміни статусу накопичувачів

Після того як всі накопичувачі були переведені до необхідного статусу, користувач може розпочати процес тестування системи збереження даних.

4.6 Результати експерименту

Для того щоб розпочати експеримент необхідно виконати вхід до командного рядка операційної системи та перейти до необхідного каталогу шлях до якого C:\Users\Administrator\Desktop\vdbench50407. Після чого користувачу необхідно прописати команду «vdbench -f file_name» для включення скрипту. Результат роботи скрипту наведено на рисунку 4.24.

```
C:\Users\Administrator\Desktop\vdbench50407>vdbench -f example2

Copyright (c) 2000, 2010, Oracle and/or its affiliates. All rights reserved.
Vdbench distribution: vdbench50407 Tue June 05 9:49:29 PDT 2010
For documentation, see "vdbench.pdf".

17:11:40.389 input argument scanned: '-fexample2'
17:11:40.436
17:11:40.452 Adjusted default JUM count for host=localhost from jums=1 to jums=5 because of iorate=max and a total of 5 sds.
17:11:40.452
17:11:40.467 Starting slave: C:\Users\Administrator\Desktop\vdbench50407\vdbench SlaveJm -n localhost -n localhost-10-210510-17.11.40.311 -l localhost-0 -p
0
17:11:40.514 Starting slave: C:\Users\Administrator\Desktop\vdbench50407\vdbench SlaveJm -n localhost -n localhost-11-210510-17.11.40.311 -l localhost-1 -p
0
17:11:40.533 Starting slave: C:\Users\Administrator\Desktop\vdbench50407\vdbench SlaveJm -n localhost -n localhost-12-210510-17.11.40.311 -l localhost-2 -p
0
17:11:40.556 Starting slave: C:\Users\Administrator\Desktop\vdbench50407\vdbench SlaveJm -n localhost -n localhost-13-210510-17.11.40.311 -l localhost-3 -p
0
17:11:40.622 Starting slave: C:\Users\Administrator\Desktop\vdbench50407\vdbench SlaveJm -n localhost -n localhost-14-210510-17.11.40.311 -l localhost-4 -p
0
17:11:41.889 All slaves are now connected
```

Рисунок 4.24 – Результат роботи скрипту

Результати тесту можна переглянути у файлі «totals.html», він знаходиться у папці «output» (див Рисунок 4.25).

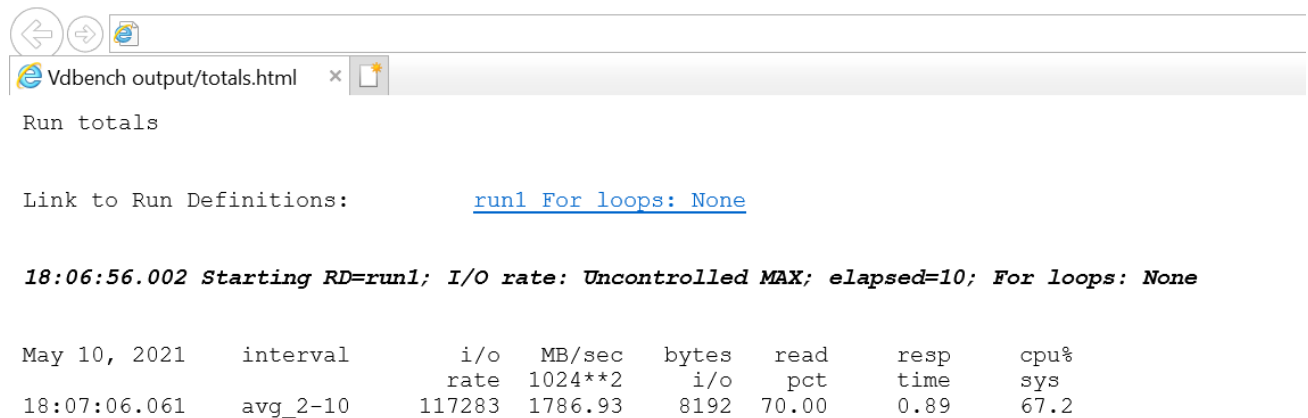


Рисунок 4.25 – Результати тестування

Ці та подальші результати тестувань будуть занесені до відповідних таблиць, які будуть вказувати пікові IOPS, та час, який необхідний для виконання однієї операції. У таблиці 4.6 наведено результати тестування системи Storwize 5030 при виключеному функціоналі компресії та дедублікації даних.

Таблиця 4.6 - Результати тестування системи Storwize 5030 при виключеному функціоналі компресії та дедублікації даних

| Storwize 5030 без компресії та дедублікації | |
|---|--------|
| Кількість операцій вводу/виводу за одну секунду (IOPS), кст/с | 117283 |
| Час виконання однієї операції, мс | 0,89 |
| Рівень утилізації процесору, % | 63 |

Для того, щоб система зберігання даних мала змогу використовувати методи економії ємності необхідно створити новий пул зберігання даних, аналогічно до того, як це було при роботі з моделлю СЗД FlashSystem 5035. На

рисунку 4.26 зображено чек бокс який необхідно активувати користувачу для створення Data Reduction Pool.

Create Pool

Pool Name:
Pool0

Extent Size: 4.00 GiB Maximum Capacity: 512.00 TiB

Additional Options:
☒ Data Reduction

Warning
If the usable capacity usage of a data reduction pool exceeds more than 85%, I/O performance can be affected. The system needs 15% of usable capacity available in data reduction pools to ensure that capacity reclamation can be performed efficiently.

[Need Help](#) Cancel Create

Рисунок 4.26 – Створення Data Reduction Pool

Після того, як було створено DRP, необхідно створити дванадцять нових томів але вже з ввімкненим алгоритмом компресії. На рисунку 4.27 показано пункт в меню, який необхідно обрати, щоб система працювала з використанням компресії.

Volume Details

Quantity: 1 Capacity: ❌ GiB Name:

Capacity savings:
Compressed ☐ Deduplicated

[Define another volume](#)

Рисунок 4.27 – Ввімкнення функціоналу компресії

Після того, як користувач знову підключив створені томи до серверу необхідно повторно виконати запуск скрипту. У таблиці 4.7 наведено результати тесту СЗД 5030 з включеним алгоритмом компресії.

Таблиця 4.7 - Результати тестування системи Storwize 5030 при включеному функціоналі компресії даних

| Storwize 5030 з включеною компресією | |
|---|-------|
| Кількість операцій вводу/виводу за одну секунду (IOPS), кст/с | 39486 |
| Час виконання однієї операції, мс | 3.8 |
| Рівень утилізації процесору, % | 62% |

Останнім етапом тестування для Storwize 5030 є перевірка продуктивності СЗД з включеним функціоналом компресії даних. Для того, щоб активувати вище згаданий функціонал користувачу необхідно натиснути на відповідний чек-бокс який розташований поряд з параметром, який відповідає за ввімкнення компресії даних (див. Рисунок 2.27). Таблиця 4.8 наводить дані з результатом тестування для системи з ввімкненим функціоналом компресії.

Таблиця 4.8 - Результати тестування системи Storwize 5030 при включеному функціоналі дедублікації даних

| Storwize 5030 з включеним функціоналом дедублікації даних | |
|---|-------|
| Кількість операцій вводу/виводу за одну секунду (IOPS), кст/с | 19523 |
| Час виконання однієї операції, мс | 2.7 |
| Рівень утилізації процесору, % | 64% |

Для тестування системи Storwize 5100, користувач повинен повторити експеримент ще раз, але вже з іншою системою збереження даних. Оскільки всі етапи побудови стенду вже наведені у пункті 4, можна переходити до результатів тестувань СЗД 5100. Специфікація та функціонал системи наведений у пункті 4.1. У таблиці 4.9 наведено результати тестування системи Storwize 5100 при виключеному функціоналі компресії та дедублікації даних.

Таблиця 4.9 - Результати тестування системи Storwize 5100 при виключеному функціоналі компресії та дедублікації даних

| Storwize 5100 без компресії та дедублікації | |
|---|--------|
| Кількість операцій вводу/виводу за одну секунду (IOPS), кст/с | 180374 |
| Час виконання однієї операції, мс | 0,53 |
| Рівень утилізації процесору, % | 59 |

Таблиця 4.10 наводить результати тестування системи Storwize 5100 при включеному функціоналі компресії даних. В таблиці 4.11 відповідно показано результати тестування при роботі алгоритмів дедублікації даних.

Таблиця 4.10 - Результати тестування системи Storwize 5100 при виключеному функціоналі компресії та дедублікації даних

| Storwize 5100 без компресії та дедублікації | |
|---|--------|
| Кількість операцій вводу/виводу за одну секунду (IOPS), кст/с | 124063 |
| Час виконання однієї операції, мс | 3.1 |
| Рівень утилізації процесору, % | 69 |

Таблиця 4.11 - Результати тестування системи Storwize 5100 при виключеному функціоналі компресії та дедублікації даних

| Storwize 5100 без компресії та дедублікації | |
|---|-------|
| Кількість операцій вводу/виводу за одну секунду (IOPS), кст/с | 47275 |
| Час виконання однієї операції, мс | 4.2 |
| Рівень утилізації процесору, % | 65 |

Аналізуючи отримані результати можна побачити, що використання програмних алгоритмів компресії знижує максимальний поріг IOPS приблизно на 65%, в свою чергу програмна дедуплікація даних зменшує продуктивність системи зберігання даних на 75-80%. Це пов'язано з тим, що зростає швидкість утилізації центрального процесора системи, у зв'язку з додатковим навантаженням на нього. Варто відзначити, що відмінність між результатами роботи моделей та експерименту складає приблизно 5 - 10 %. Це допустиме відхилення, оскільки використовується різна кількість кеш пам'яті та процесори різних поколінь. Результати роботи системи зберігання даних з використанням апаратних прискорювачів показали, що максимальний поріг IOPS був знижений на 30% при активованому алгоритмі компресії, для дедублікації відповідно кількість операцій вводу/виводу за одну одиницю часу була зменшена на 60%.

За результатами проведених досліджень створено методику конфігурування системи зберігання даних, яка складається з наступних пунктів:

- Першим кроком користувачу необхідно визначитись с типом мережі зберігання даних, оскільки від вибраної мережі буде залежати перелік необхідного обладнання.
- Особливу увагу необхідно звернути на вибір протоколів передачі даних та інтерфейсів підключення, так як існують випадки придбання несумісних конфігурацій. Наприклад, передача даних по протоколу iSCSI може

відбуватися за допомогою звичайного мідного кабелю, який використовує інтерфейс підключення RJ45, в той же час на серверу можуть бути придбані адаптери вводу/виводу з інтерфейсами SFP+.

- Перед тим, як придбати будь-яку систему зберігання даних необхідно чітко розуміти рекомендовані параметри для використаних користувачем додатків. Для прикладу візьмемо базу даних Oracle, для оптимальної роботи якої необхідно, щоб швидкість виконання однієї операції не перевищувала однієї мілісекунди.
- IOPS є основним показником продуктивності системи зберігання даних, тому перед придбанням СЗД необхідно робити запит на побудову моделі її роботи, це дасть змогу зрозуміти, чи підійде обрана користувачем система зберігання даних для досягнення поставлених перед ним цілей.
- Використання алгоритмів компресії, дедублікації для систем зберігання даних початкового рівня вважається доцільним у випадку, якщо першочерговим критерієм для користувача є саме зберігання даних. Як правило, в таких випадках на вищевказаних системах зберігають резервні копії томів зберігання, архіви та повноцінні бекапи систем.
- Користувачі, які планують використовувати методи економії ємності для високонавантажених додатків, мають дослідити свої дані на коефіцієнт стискування. Цілком вірогідна ситуація, що дешевше бути купити СЗД, яка матиме кращі технічні характеристики та створить необхідний запас IOPS навіть при використанні алгоритмів компресії та дедублікації даних.
- Важливу роль при роботі з системами збереження даних відіграє її адміністрування, оскільки більшість функціоналу, який надає СЗД потребує тонкого налаштування. Тому, перед початком роботи з системою збереження, користувачу варто пройти підготовчі курси, які як правило, надаються компаніями, які і є розробниками даних апаратних рішень.

ВИСНОВКИ

У ході виконання магістерської дисертації було проведено аналіз існуючих архітектур зберігання даних: Direct Attached Storage, Network Attached Storage, Storage Area Networks.

Окремий розділ було присвячено дослідженню та аналізу роботи моделей, що дозволяють оцінити вплив використання алгоритмів компресії та дедублікації даних на СЗД. В рамках дослідження моделей було наведено та описано алгоритм конфігурування моделей

В рамках дисертації було проведено експерименти, для яких було підготовлено програмно-апаратний стенд з використанням наступного обладнання: сервера Lenovo x3650 m5, комутатора Brocade 6505 та двох систем зберігання даних Storwize 5030 та Storwize 5100. Також в ході експериментів було налаштовано зонінг портів, що забезпечив коректне передавання трафіку в рамках мережі зберігання даних.

Особливу увагу в експерименті було приділено конфігуруванню програмного забезпечення Oracle VDbench, що створював запити вводу/виводу на системи зберігання даних.

За отриманими результатами було розроблено методику конфігурування системи зберігання даних, що дозволить користувачу обрати оптимальну СЗД для вирішення поставлених перед ним завдань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Windows Storage Technologies: DAS, NAS and SAN-Based Solutions [Електронний ресурс] // BWW Media Group. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.petri.com/das-nas-san-storage-technologies>.
2. Шривастава А. От хранения данных к управлению информации / Аллок Шривастава. – Санкт-Петербург: Питер, 2016. – 543 с.
3. Enders F. IBM FlashSystem 5000 Family Products / F. Enders, S. Kubin, J. Tate., 2020. – 38 с.
4. Smith M. IBM FlashCore Module Cryptographic Erase / Matt Smith., 2020. – 8 с. – (REDP-5529-00).
5. What is Storage Class Memory (SCM)? [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.intellimagic.com/products/intellimagic-direction-for-san/>.
6. Implementing the IBM System Storage SAN Volume Controller with IBM Spectrum Virtualize V8.2.1 / Jon Tate, Jack Armstrong, Tiago Bastos, Pawel Brodacki, Frank Enders, Sergey Kubin, Danilo Miyasiro, Rodrigo Suzuki GA :2019. P. 37-59.
7. Comparing IOPS for SSDs and HDDs [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.tvtechnology.com/opinions/comparing-iops-for-ssds-and-hdds>.
8. Hughes G. Hard Drive! (As the Disc Turns) / Gordon Hughes., 2007. – 310 с. – (Createspace Publishing).
9. профессиональный тест SSD-накопителей Kingston DC500R и DC500M [Електронний ресурс]. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <https://prohoster.info/blog/administrirovanie/po-vashim-zayavkam-professionalnyj-test-ssd-nakopitelej-kingston-dc500r-i-dc500m>.

10. What Is a Storage Area Network (SAN)? [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа до ресурсу: https://www.snia.org/education/storage_networking_primer/san/what_san.
11. File storage, block storage, or object storage? [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.redhat.com/en/topics/data-storage/file-block-object-storage>.
12. RAID (redundant array of independent disks) [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://searchstorage.techtarget.com/definition/RAID>.
13. System x3650 M4 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://lenovopress.com/tips0850-system-x3650-m4-e5-2600-v2>.
14. Implementation Guide for IBM Elastic Storage System 5000 / B.Herr, F. Yaragatti, J. Vaddi, S. Vankadhara., 2020. – 110 с.
15. QuickSpecs HPE 3PAR StoreServ 8000 Storage. – 2021. – №6. – С. 37.
16. Configuring LUN move [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.delltechnologies.com/en-us/documentation/unity-family/unity-p-config-luns/02-configuring-lun-move.htm>.
17. Automatic Storage Tiering (Auto-Tiering) [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/automatic-storage-tiering-auto-tiering>.
18. Data Deduplication Overview [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows-server/storage/data-deduplication/overview>.
19. IBM Real-time Compression in IBM SAN Volume Controller and IBM Storwize V7000 / C.Burns, B. Tuv-El, J. Quintal, J. Tate., 2015. – 122 с.
20. Dell EMC PowerVault ME4 Series Storage Specification Sheet [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.delltechnologies.com/en-in/collaterals/unauth/data-sheets/h17384-powervault-me4-series-ss.pdf>.

ДОДАТОК А

ORA VDBench

dedupunit=4k

dedupratio=3

compratio=3

sd=sd1,hd=hd1,lun=PhysicalDrive1, openflags=o_direct

sd=sd2,hd=hd1, lun=PhysicalDrive2, openflags=o_direct

sd=sd3,hd=hd1, lun=PhysicalDrive3, openflags=o_direct

sd=sd4,hd=hd1, lun=PhysicalDrive4, openflags=o_direct

sd=sd5,hd=hd1, lun=PhysicalDrive5, openflags=o_direct

sd=sd6,hd=hd1, lun=PhysicalDrive6, openflags=o_direct

sd=sd7,hd=hd1, lun=PhysicalDrive7, openflags=o_direct

sd=sd8,hd=hd1, lun=PhysicalDrive8, openflags=o_direct

sd=sd21,hd=hd2, lun=PhysicalDrive9, openflags=o_direct

sd=sd22,hd=hd2, lun=PhysicalDrive10, openflags=o_direct

sd=sd23,hd=hd2, lun=PhysicalDrive11, openflags=o_direct

sd=sd24,hd=hd2, lun=PhysicalDrive12, openflags=o_direct

*For Oracle we'll assume reducibility rate of 3.9:1 under load

wd=wd_oracle_read,rdpct=100,xfersize=(4k,4.5,8k,41.05,16k,29.84,32k,1.23,56k,1.39,128k,15.19,252k,5.23,420k,0.18,1004k,1.39),seekpct=80,range=(0,100),sd=sd*

wd=wd_oracle_write,rdpct=0,xfersize=(4k,22.1,8k,37.3,16k,19.12,32k,5.35,56k,4.68,120k,7.65,236k,3.34,408k,0.15,944k,0.31),seekpct=80,range=(50,100),sd=sd*

rd=rd_oracle_ramp,wd=wd_oracle*,forrdpct=83.14,curve=(20,35,50,65,80,90,92,94,96,98,99),iorate=curve,interval=1,elapsed=300,maxdata=999t,forthreads=16

ORA VDBench_Dedup

dedupunit=4k

dedupratio=3

sd=sd1,hd=hd1,lun=PhysicalDrive1, openflags=o_direct

sd=sd2,hd=hd1, lun=PhysicalDrive2, openflags=o_direct

sd=sd3,hd=hd1, lun=PhysicalDrive3, openflags=o_direct

sd=sd4,hd=hd1, lun=PhysicalDrive4, openflags=o_direct

sd=sd5,hd=hd1, lun=PhysicalDrive5, openflags=o_direct

sd=sd6,hd=hd1, lun=PhysicalDrive6, openflags=o_direct

sd=sd7,hd=hd1, lun=PhysicalDrive7, openflags=o_direct

sd=sd8,hd=hd1, lun=PhysicalDrive8, openflags=o_direct

sd=sd21,hd=hd2, lun=PhysicalDrive9, openflags=o_direct

sd=sd22,hd=hd2, lun=PhysicalDrive10, openflags=o_direct

sd=sd23,hd=hd2, lun=PhysicalDrive11, openflags=o_direct

sd=sd24,hd=hd2, lun=PhysicalDrive12, openflags=o_direct

*For Oracle we'll assume reducibility rate of 3.9:1 under load

wd=wd_oracle_read,rdpct=100,xfersize=(4k,4.5,8k,41.05,16k,29.84,32k,1.23,56k,1.39,128k,15.19,252k,5.23,420k,0.18,1004k,1.39),seekpct=80,range=(0,100),sd=sd*

wd=wd_oracle_write,rdpct=0,xfersize=(4k,22.1,8k,37.3,16k,19.12,32k,5.35,56k,4.68,120k,7.65,236k,3.34,408k,0.15,944k,0.31),seekpct=80,range=(50,100),sd=sd*

rd=rd_oracle_ramp,wd=wd_oracle*,forrdpct=83.14,curve=(20,35,50,65,80,90,92,94,96,98,99),iorate=curve,interval=1,elapsed=300,maxdata=999t,forthreads=16

ORA VDBench_comp

compratio=3

sd=sd1,hd=hd1,lun=PhysicalDrive1, openflags=o_direct

sd=sd2,hd=hd1, lun=PhysicalDrive2, openflags=o_direct

sd=sd3,hd=hd1, lun=PhysicalDrive3, openflags=o_direct

sd=sd4,hd=hd1, lun=PhysicalDrive4, openflags=o_direct

sd=sd5,hd=hd1, lun=PhysicalDrive5, openflags=o_direct

sd=sd6,hd=hd1, lun=PhysicalDrive6, openflags=o_direct

sd=sd7,hd=hd1, lun=PhysicalDrive7, openflags=o_direct

sd=sd8,hd=hd1, lun=PhysicalDrive8, openflags=o_direct

sd=sd21,hd=hd2, lun=PhysicalDrive9, openflags=o_direct

sd=sd22,hd=hd2, lun=PhysicalDrive10, openflags=o_direct

sd=sd23,hd=hd2, lun=PhysicalDrive11, openflags=o_direct

sd=sd24,hd=hd2, lun=PhysicalDrive12, openflags=o_direct

*For Oracle we'll assume reducibility rate of 3.9:1 under load

wd=wd_oracle_read,rdpct=100,xfersize=(4k,4.5,8k,41.05,16k,29.84,32k,1.23,56k,1.39,128k,15.19,252k,5.23,420k,0.18,1004k,1.39),seekpct=80,range=(0,100),sd=sd*

wd=wd_oracle_write,rdpct=0,xfersize=(4k,22.1,8k,37.3,16k,19.12,32k,5.35,56k,4.68,120k,7.65,236k,3.34,408k,0.15,944k,0.31),seekpct=80,range=(50,100),sd=sd*

rd=rd_oracle_ramp,wd=wd_oracle*,forrdpct=83.14,curve=(20,35,50,65,80,90,92,94,96,98,99),iorate=curve,interval=1,elapsed=300,maxdata=999t,forthreads=16

ДОДАТОК Б

alcreate "host_fcs0", "21:00:00:24:FF:11:9F:3E "

alcreate "host_fcs1", "21:00:00:24:FF:11:9E:BB "

alcreate "host_fcs2", "21:00:00:24:FF:11:9C:2A "

alcreate "host_fcs3", "21:00:00:24:FF:11:9G:4F "

alcreate "storage_node1_p1", "50:05:07:68:02:15:B7:41"

alcreate "storage_node1_p2", "50:05:07:68:02:25:B7:53"

alcreate "storage_node1_p3", "50:05:07:68:02:15:E9:42"

alcreate "storage_node1_p4", "50:05:07:68:02:25:E9:23"

alcreate "storage_node2_p1", "50:05:07:68:02:64:C3:31"

alcreate "storage_node2_p2", "50:05:07:68:02:72:B1:41"

alcreate "storage_node2_p3", "50:05:07:68:02:34:B2:83"

alcreate "storage_node2_p4", "50:05:07:68:02:12:F2:42"

zonecreate "host_fcs0_to_storage_p1", "host_fcs0; storage_node1_p1;
storage_node2_p1"

zonecreate "host_fcs1_to_storage_p2", "host_fcs1; storage_node1_p2;
storage_node2_p2"

zonecreate "host_fcs2_to_storage_p3", "host_fcs2; storage_node1_p3;
storage_node2_p3"

zonecreate "host_fcs3_to_storage_p4", "host_fcs3; storage_node1_p4;
storage_node2_p4"

cfgadd "testing", "host_fcs0_to_storage_p1"

cfgadd "testing", "host_fcs1_to_storage_p2"

cfgadd "testing", "host_fcs2_to_storage_p3"

```
cfgadd "testing","host_fcs3_to_storage_p4"
```

```
cfgsave "testing"
```

```
cfgenable "testing"
```